Aus der Abteilung für Kieferorthopädie
Ärztliche Direktorin: Professor Dr. D. Dausch-Neumann
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

DIE FERNRÖNTGENAUFNAHME IN DER NORMA FRONTALIS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt
von
Ulrich Hubertus Ritzka
aus
Heidelberg

1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548921_0022

Aus der Abteilung für Kieferorthopädie
Ärztliche Direktorin: Professor Dr. D. Dausch-Neumann
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

DIE FERNRÖNTGENAUFNAHME IN DER NORMA FRONTALIS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt
von
Ulrich Hubertus Ritzka
aus
Heidelberg

1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H. Heimann
Berichterstatter: Professor Dr. D. Dausch-Neumann

FOTODRUCK H. RESCH · Georgstr. 50 · 7402 Kirchentellinsfurt

Die Arbeit ist meinen Eltern, die mir diese Ausbildung ermöglicht haben, in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	Einleitung und Problemstellung	2
II.	Literaturübersicht	5
	1. Entdeckung, Definition und Eigenschaften der Röntgenstrahlen	5
	2. Der Weg zur Fernröntgenaufnahme und ihre Bedeutung für die kieferorthopädische Praxis	6
	3. Technik der Herstellung einer frontalen Fernröntgenaufnahme	11
	4. Methoden der Analyse der frontalen Fernröntgenaufnahme	18
	5. Auswertung der frontalen Fernröntgenaufnahmen	27
III.	Eigene Untersuchungen	35
	a) Untersuchtes Material	35
	b) Technische Daten für die Versuche	35
	c) Möglichkeiten zur röntgenologischen Darstellung von Fissurenmeßpunkten, sowie der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatz-Kurvaturen	36
	d) Theorie zur röntgenologischen Darstellbarkeit der Wurzelspitzen	40
	e) Ergebnisse	55
IV.	Diskussion	58
V.	Zusammenfassung	63
VI.	Literaturverzeichnis	65

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Ein wichtiges diagnostisches Hilfsmittel in der Kieferorthopädie, das Fernröntgen, wurde offiziell im Jahre 1931 durch den Deutschen HOFRATH (19) und den Amerikaner BROADBENT (5) eingeführt.

Während sich die Aufnahmen in der Norma lateralis als sehr aufschlußreich zur Diagnostik bei schwierigen Kieferanomalien herausstellten und heutzutage zu den Befundunterlagen eines jeden Patienten zählen, fand die Frontalprojektion in Form einer posterior-anterioren Aufnahmetechnik nur wenig Beachtung.

Die Gründe hierfür sind einerseits die Schwierigkeit der Herstellung und Auswertbarkeit der frontalen Aufnahmen, andererseits lenkte das häufige Vorkommen von sagittalen Abweichungen im Gebißsystem von der Notwendigkeit der Ergänzung der transversalen Beziehungen ab.

Es bestand jedoch schon immer Interesse, eine dreidimensionale Betrachtung der Anomalien zu ermöglichen. Dies ist nur durch Fernröntgenaufnahmen des Schädels sowohl von lateral als auch von frontal möglich. L.DE COSTER (10) äußert: "Wenn wir eines Tages die Möglichkeit haben werden, auch frontale Aufnahmen des Gesichtsschädels herzustellen, werden wir auch die geringfügigen Fehlbildungen analysieren können". G. KORKHAUS (25,26) stellt fest, daß ein derartiges frontales Fernröntgenbild "eine keineswegs geringere diagnostische Ausbeute erwarten läßt".

Die Notwendigkeit zur räumlichen Darstellung einer Anomalie wird z.B. auch daraus ersichtlich, daß kieferorthopädisch erzielte Veränderungen fast ausschließlich auf Umbauvorgängen des Knochens und des Zahn-Kiefersystems in allen drei Dimensionen des Raumes beruhen.

Das vorliegende Krankheitsbild, seine Genese, der durch kieferorthopädische Behandlung stattgefundene Therapieerfolg oder Mißerfolg und die zu erwartende Weiterentwicklung lassen sich nur durch eine räumliche Betrachtung exakt beurteilen. Es wurde deshalb versucht, die Fernröntgenaufnahmen in der Norma frontalis analysierbar zu machen. Um die Fernröntgenbilder in der Norma lateralis zu ergänzen, stehen die Aufnahmen der Norma basalis zur Verfügung, die für die Kieferorthopädie jedoch nicht relevant sind.

Da das zur kieferorthopädischen Diagnose jedoch besonders wichtige Seitenzahngebiet im Oberkiefer, vor allem die transversale Distanz der Fissurenmittelpunkte oberer linker erster Praemolar - oberer rechter erster Praemolar beziehungsweise oberer linker erster Molar - oberer rechter erster Molar bei der Frontalprojektion nur schwer darstellbar ist - durch die Übereinanderprojektion der Seitenzähne bedingt - suchte man nach Möglichkeiten, mit röntgenpositiven Materialien wichtige Strukturen darzustellen.

Derartige "Kontrastmittel sind Substanzen, die entweder die Röntgenstrahlen wesentlich stärker absorbieren als das umgebende Gewebe mit dem röntgensichtbaren Effekt eines positiven Kontrastes = positive Kontrastmittel wie Jod, Barium und andere, oder es sind Stoffe, die die Strahlen wesentlich geringer schwächen als das umgebende Gewebe mit dem Effekt des negativen Kontrastes = negative Kontrastmittel wie Luft" (W. HOFFMANN-AXTHELM (18)).

Ohne die röntgenpositiven Markierungen ist in der Region oberer linker erster Praemolar - oberer rechter erster Praemolar und oberer linker erster Molar- oberer rechter erster Molar auf dem Röntgenbild eine Verschattung sichtbar, die konturenmäßig nicht zu entschlüsseln ist. Die vorliegende Arbeit hat somit folgende Aufgaben zu erfüllen:

1. Die röntgenologische Darstellung des für die kieferorthopädische Diagnose relevanten Seitenzahngebietes (coronaler Bereich).

2. Die röntgenologische Darstellung der Wurzelspitzen der entsprechenden Zähne (apikaler Bereich).
   Somit ist die Möglichkeit geschaffen
   a) Zahnachsenrichtungen genau abzuklären
   b) Stellung der Zähne zur apikalen Basis beurteilen zu können
   c) Winkelbeziehungen im gesamten Kiefer-Gesichtsbereich zu erfassen.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Entdeckung, Definition und Eigenschaften der Röntgenstrahlen.

Der deutsche Physiker Wilhelm Conrad RÖNTGEN entdeckte 1895 in Würzburg eine unsichtbare Strahlung, die er selbst X-Strahlen nannte. Im Angelsäschsischen ist deshalb heute noch die Bezeichnung X-rays üblich.
O. DORN (11) definiert die Röntgenstrahlen wie folgt: "Prallen schnelle Elektronen (Kathode) auf ein Hindernis (Anode oder Antikathode nach H. NEUERT (32)), so gehen von ihm unsichtbare Röntgenstrahlen aus. Sie sind dem Licht ähnlich (elektromagnetische Wellen), da sie weder durch elektrische, noch durch magnetische Felder abgelenkt werden können. Röntgenstrahlen durchdringen Stoffe um so leichter, je kleiner deren Atomgewicht ist. Im Gegensatz zum Licht werden sie nicht gebrochen".
Die meisten von der Kathode emittierten Elektronen führen ihre kinetische Energie in Wärmeenergie über; nur etwa 1 % der Elektronen erzeugen Röntgenstrahlen (H. NEUERT (32)). Röntgenstrahlung entsteht fast punktförmig an der Anode (Antikathode), von wo aus die der Art nach elektromagnetischen Wellen ausgehen. Zunächst versuchte man vergeblich, Reflexion, Brechung, Interferenz (Überlagerung von Wellen) und Beugung nachzuweisen (O. DORN (11)).

Heutzutage ist die Wellenlänge der Röntgenstrahlen mit 10^{-10}m aufgrund von Interferenzerscheinungen an geeigneten Kristallen (NaCl) bekannt (O. DORN (11), H. NEUERT (32)).
An dieser Stelle sei noch das Ionisierungsvermögen und die daraus resultierenden Gefahren von somatischen Strahlenschäden, die von leichter Übelkeit bis hin zum Strahlenkrebs reichen, erwähnt.

2. Der Weg zur Fernröntgenaufnahme und ihre Bedeutung für die kieferorthopädische Praxis.

a) Historischer Abriß

Im Jahre 1909 führt A. BERTHILLON (zitiert nach W. EICHER (12)) die Photographie in die Kriminalogie ein. Die Herstellungsmethode frontaler und seitlicher Aufnahmen stellt den Vorläufer des modernen Photostatverfahrens dar. Etwas später, nämlich im Jahre 1916,befaßt sich VAN LOON (zitiert nach G. KORKHAUS (24)) als einer der ersten mit der Beziehung des Zahn-Kiefersystems zu bestimmten Gesichtslinien. Er orientiert Gipsmodelle nach Schädelebenen. Diese sehr umständliche Methode wird 1919 von P.W.SIMON (zitiert nach G. KORKHAUS (24)) vereinfacht. Er erfaßt dentokranielle Beziehungen des Gesichtsschädels durch "Gnathostatik" und "Photostatik".

CARREA (27) untersucht 1922 menschliche Schädel mit Hilfe von Röntgenaufnahmen. Er markiert das Weichteilprofil mit Bleidraht und empfiehlt diese Mothode zum Studium von Anomalien in mesio-distaler Richtung.
Im gleichen Jahr gibt PACINI (27) seine als "Röntgen ray Anthropometry" bezeichnete Methode zu anthropologischen Schädeluntersuchungen an.

Der Deutsche HOFRATH (19) und der Amerikaner BROADBENT (5) veröffentlichen unabhängig voneinander im Jahre 1931 für die Kieferorthopädie brauchbare Methoden zur Herstellung von Fernröntgenaufnahmen. Sie orientieren den Kopf des Patienten in besonderen Einstellgeräten, so daß ein Vergleich von zeitlich verschieden angefertigten Aufnahmen möglich wird.

Bereits 1936 erkennt A.M. SCHWARZ (35) die Notwendigkeit einer dreidimensionalen Betrachtung der Kieferanomalien. Er fertigt schon in diesem Jahr frontale Fernröntgenbilder an.

In der Folgezeit werden technische Verbesserungen und Auswertungsmöglichkeiten der Fernröntgenaufnahmen erarbeitet. V. GEBAUER (13) beschreibt 1977 moderne Computerverfahren, welche neuerdings ebenfalls ihren Platz in der Kieferorthopädie gefunden haben. "Die elektronischen Verfahren erlauben es, verschiedene Parameter von Modell- und Fernröntgenanalysen zu speichern, diese abzurufen, Vorhersagen und Verläufe von kieferorthopädischen Behandlungen kritisch zu verfolgen".

Andere heutzutage gebräuchliche Röntgenverfahren, die sowohl in der Allgemein- wie auch speziell der Zahnmedizin Anwendung finden, sind:

Das Orthopanverfahren, die Schichtaufnahmetechnik (Tomographie) und als wohl neuestes Verfahren die Xero-Radiographie.

b) Bedeutung des Fernröntgens für die kieferorthopädische Praxis

Die wichtigste Aufgabe für die Kieferorthopädie ist die exakte Beurteilung der vorliegenden Anomalie des Patienten, also die genaue Diagnose und die sich daraus ergebende Therapie.
Sehr früh schon hat man erkannt, daß die Diagnosestellung gerade bei schwierigen kieferorthopädischen Krankheitsbildern anhand von Gipsmodellen allein und eventuell mit Gipsmasken des Gesichts nicht möglich ist.
Schon immer war der Wunsch vorhanden, das Gebiß im Schädel "wie hinter Glas" liegen zu sehen. Einige Autoren machen dies deutlich: "Das Fernröntgenbild hat uns viel mehr zu sagen, als das Gebißmodell oder das Profilfoto" (R. REHAK (33)). Eine weitere Äußerung: " Für die kieferorthopädische Diagnose genügt nicht das morphologische Erschei - nungsbild des Patienten allein, man gewinnt einen Einblick in den Skelettaufbau nur durch eine Röntgenaufnahme"

(A. COUTAND (6)). G. KORKHAUS (23) sagt hierzu: "Aus den vielen Anhaltspunkten entspringt die übergeordnete biogenetische Diagnose".

Ein nicht zu unterschätzender Wert geht aus Fernröntgenaufnahmen zum Abschätzen von Gesichtstypen (z.B.: vorwärts divergentes Profil) und dem Erkennen der Individualität in den einzelnen Schädel-, Gesichts- und Kieferstrukturen hervor (U. BLEIFUSS-RILAT (2)).
In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, daß sich nicht nur der knöcherne Aufbau, sondern auch die Weichteilbedeckung in die Untersuchung mit einbeziehen läßt (H. HOFRATH (19)).
Außer den zwei wichtigsten Aspekten, nämlich Diagnose und Therapie, ergab sich ebenso dringend die Notwendigkeit, neben den Wachstumsvorgängen einen Einblick in die Entstehung und die zu erwartende Weiterentwicklung eines Krankheitsbildes zu gewinnen. Es gibt hierzu eine ganze Fülle von Literaturhinweisen; es seien im folgenden einige angeführt: O. HOFFER (18) stellt in einer von ihm durchgeführten Studie fest: "Diese Untersuchung, welche die Art der Dysgnathie in Bezug zu den vornehmlich biotypologischen Eigenschaften des Biotyps betrachtet, ermöglicht einen tiefen Einblick in die Biogenese und in den dynamisch-funktionell-konstruktiven Aufbau des Gesamtschädels".

Ebenso betont H. HOFRATH (19) die durch das Fernröntgen entstehende größere Sicherheit für die Genese einer Anomalie.
Für die Prognose einer Kieferanomalie stellt die Fernröntgenaufnahme eine "conditio sine qua non" dar. Denn es gilt, sehr viele Einzelheiten abzuklären, wie die Lage von Zahnkeimen, das Verhältnis der Zähne zum Alveolarfortsatz, dessen Beziehung zum Kieferkörper und dessen Lage

zum gesamten Viscero- beziehungsweise Neurocranium, genaue Lagekenntnis von anthropologischen Punkten, Strecken und Winkeln.
Erst durch das Wissen um solche umfangreiche Einzelfaktoren sind Wachstumsstudien und Wachstumsvorhersagen möglich. D. DAUSCH-NEUMANN (7) sagt: "Die Analyse des Fernröntgenbildes sichert die Prognose".

Ähnliche Ansichten vertritt H.P. BIMLER (1), der gleichzeitig vor nicht differenzierten statistischen Normen für die Bewertung des Einzelfalles warnt. Er fordert, daß ein statistischer Normenvergleich durch einen individuellen Harmonievergleich ersetzt werde, das heißt,man muß von der Individualität eines jeden einzelnen Patienten ausgehen und darf nicht den Versuch unternehmen, mit Gewalt ein statistischen Normen gerecht werdendes Schönheitsideal schaffen zu wollen.
Vielmehr sieht er den Erfolg einer gelungenen Therapie in dem für dieses Individuum erzielten ästhetischen Optimum.

Auch P. SCHOPF (34) stellt den prognostischen Wert, speziell der frontalen Fernröntgenaufnahmen,dadurch heraus, indem er unter anderem Untersuchungen über die Breitenentwicklung der Kiefer (erfolgt eine Änderung der Zahnachsenwinkel? Wird die Kieferbasis verbreitert? Inwieweit wird die Kieferbasis durch kieferorthopädische Maßnahmen beeinflußt?) anstellt.

B.H. BROADBENT (5) vertritt die Ansicht, daß nur mit Hilfe der Fernröntgenaufnahmen präzise Aussagen über Entwicklungsvorgänge und ihre Einflüsse auf den Schädel, sowie Veränderungen durch kieferorthopädische Maßnahmen zu machen sind. Er betont, daß Vermessungen im Gesichtsbereich und genaue Studien der Schädelbasispunkte durchgeführt werden können. Ferner hebt der Autor den Vorzug gegenüber Meßverfahren an Knochenschädeln in einem "Kraniostaten" hervor.

Wie schon an anderer Stelle erwähnt, erkannte man bereits früh die Notwendigkeit zur dreidimensionalen Betrachtung der kieferorthopädischen Anomalien. Erst dadurch wird der Kreis zu deren Bewertung geschlossen und tritt ein räumliches Gesamtbild der vorliegenden komplexen Anomalie hervor.

J.M. BOUVET (3) weist darauf hin, daß "komplexe Mißbildungen nur durch eine dreidimensionale Auswertung analysiert werden können". Die Ergänzung durch die frontale Fernröntgenaufnahme besteht darin, daß Aufschlüsse über Breitenentwicklung, Studien von Mittenabweichungen, Okklusionsebenenkippungen, Gesichtsasymmetrien, Verlagerungen des Unterkiefers und Beurteilungen von Zahnkeimlagen möglich werden (J.F. MULICK (29)).

Die große Bereicherung, die uns das Fernröntgen gebracht hat, sei an einem konkreten Beispiel aufgezeigt, nämlich dem Krankheitsbild der Progenie.

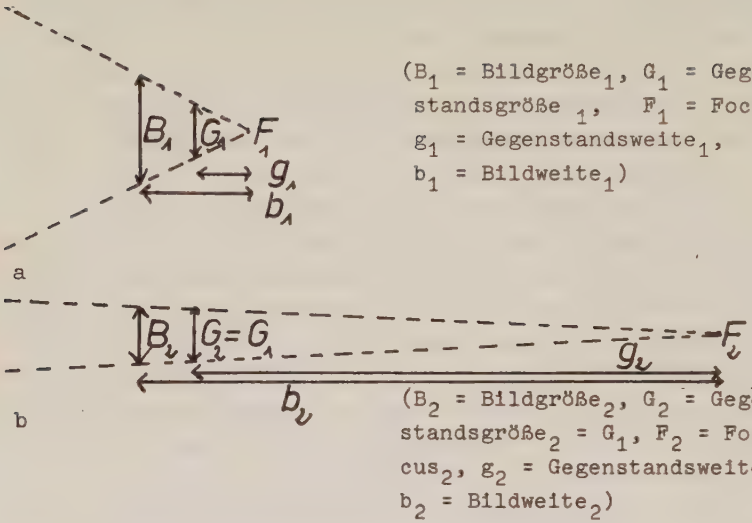
In der Untersuchung von D.DAUSCH-NEUMANN (7,8,9) wird festgestellt, daß "die Fernröntgenanalyse ergeben hat, daß es sich bei der Progenie genetisch um eine Überentwicklung des Unterkiefers, eine Unterentwicklung des Oberkiefers oder eine Kombination beider Faktoren handelt, deren Ausmaß nur durch die Fernröntgenaufnahme erfaßt werden kann".

Auch J. KULKARNI (27) zeigt, daß bei den meisten der interessantesten orthodontischen Krankheitsbilder transversale Abweichungen vorliegen, die entweder den Zahn-Kieferapparat isoliert betreffen oder den gesamten Gesichts- und Hirnschädel.
Die wertvolle Ergänzung durch die frontale Fernröntgenaufnahme wird in einer kombinierten sagittal-frontalen Vergleichsauswertung aufgezeigt.

An dieser Stelle möchte ich eine Arbeit anführen, die sich kritisch mit der Reproduktionsgenauigkeit eines solchen dreidimensionalen cephalometrischen Koordinatensystems befaßt. Es ist die Dissertation von W. EICHER (12). Er stellt fest, daß es sich bei kombinierten Frontal- und Profilaufnahmen, wie die statistische Prüfung anhand von allgemein anerkannten Teststrecken zeigt, um ein sehr genaues Koordinatensystem handelt. Bestimmte Hautpunkte bilden das Hautkoordinatensystem KS^H, Knochenpunkte das Knochenkoordinatensystem KS^K, sogenannte "Rahmenmarken" das Apparatekoordinatensystem KS^A.
Die Brauchbarkeit einer dreidimensionalen Auswertung wird statistisch dadurch gezeigt, daß die verschiedenen Systeme miteinander in Beziehung gebracht werden.
Zum Schluß dieser Betrachtungen bleibt noch als kritischer Einwand ein Satz von R. HOTZ (20) zu bedenken: "Zusammenfassend möchte ich sagen, daß das Fernröntgenbild ein diagnostisches Hilfsmittel ist, das unsere therapeutischen Möglichkeiten weit übertrifft".

3. Technik der Herstellung einer frontalen Fernröntgenaufnahme

Die Bezeichnung "Fernröntgenaufnahme" resultiert aus dem großen Abstand des Röntgenröhrenfocus zum Film (Mindestabstand 1,50m, Maximalabstand 4,00 m). Hierdurch soll eine projektorische Verzerrung der Aufnahme durch divergierende Strahlenbündel möglichst gering gehalten werden. Folgendes Schema soll dies veranschaulichen:



(B_1 = Bildgröße$_1$, G_1 = Gegenstandsgröße$_1$, F_1 = Focus$_1$, g_1 = Gegenstandsweite$_1$, b_1 = Bildweite$_1$)

(B_2 = Bildgröße$_2$, G_2 = Gegenstandsgröße$_2$ = G_1, F_2 = Focus$_2$, g_2 = Gegenstandsweite$_2$, b_2 = Bildweite$_2$)

Abb. 1 a-b Mit zunehmendem Film-Focusabstand wird der Vergrößerungsfaktor kleiner. Bei 4 m Film-Focusabstand beträgt er praktisch 0.

Für die Abbildungen gilt die Formel: $\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$.

Da die Gegenstandsgröße G ($G_1 = G_2$) gleich bleibt, die Gegenstandsweite jedoch größer wird, muß folglich die Bildgröße B ($B_2 < B_1$) kleiner werden.

Bei einem Film-Focusabstand von 4 m ist der Vergrößerungsfaktor praktisch gleich 0.

Diese Zusammenhänge und die sich daraus ergebenden Bedeutung für metrische Ermittlungen am Lebenden hatte bereits im Jahre 1931 H. HOFRATH (19) erkannt.

Es war jedoch keineswegs so, daß von vornherein die idealen quantitativen Daten zur Erzielung bestmöglicher Resultate vorhanden waren, ebensowenig wie Möglichkeiten, um Bildverwacklungen aufgrund der Unruhe des Patienten zu verhindern und gleichzeitg eine Wiederorientierung desselben Patienten zu einem anderen Zeitpunkt zu ermöglichen.

Im folgenden sollen deshalb einerseits der gesamte Röntgenkomplex (Röntgenröhre, quantitative Daten, Filmmaterial u.s.w.), andererseits der Patientenorientierungskomplex (Ausrichtung nach anthropologischen Bezugspunkten und Linien, Kopfhaltegeräte u.s.w.) unter Berücksichtigung der Literaturhinweise abgehandelt werden.

Die Schwierigkeit bei der Herstellung der frontalen Fernröntgenaufnahme besteht vor allem darin, daß zum Erreichen derselben Bildqualität wie bei der Seitenaufnahme im Vergleich zu dieser eine stärkere Penetration, d.h. eine größere Härte der Röntgenstrahlen notwendig ist.
Außerdem muß die Expositionszeit nach K. NAWRATH (31) um das 1 1/2 bis 2-fache höher sein.
Das eine erfordert eine größere KV-Zahl und damit einen leistungsfähigeren Röntgenapparat, das andere eine Verlängerung der Belichtungszeit, wodurch aber in erhöhtem Maße die Gefahr einer Bewegungsunschärfe der Aufnahme in Kauf genommen werden muß (P. SCHOPF (34)).
Nach E. HAUSSER (15) nimmt mit steigender KV-Zahl die Streustrahlung zu, welche die Qualität der Aufnahmen durch zusätzliche Belichtung des Filmes beeinträchtigt. In diesem Zusammenhang soll erwähnt werden, daß die Leistungsfähigkeit des Röntgengerätes die Grenze des größtmöglichen Aufnahmeabstandes ist.
Auch TH. KIRSCH (22) hat zur Problematik der Streustrahlung bei Fernröntgenaufnahmen einen Beitrag geleistet.
Es gilt: Gesamtstrahlenbelastung = Direktstrahlung
(eigentliches Interessengebiet)
+ Streustrahlung (Peripherie, z.B. Gonaden).
Der Autor weist in diesem Artikel auf die große Anfälligkeit der Gonaden gegenüber Röntgenstrahlen, vor allem bei Kindern, hin.
Diesen Nachteilen und Problemen, die vor allem bei der p.-a.-Projektion auftreten können, begegnen heutzutage die meisten angewandten Verfahren durch entsprechende Maßnahmen. Sie bestehen in technischen Folgerungen:

1. Genaue Ausblendung des benötigten Strahlenbündels auf die Größe der Filmkassette.

2. Verwendung von Stromspannungen von 75 bis höchstens 90 KV.

3. Verwendung hochempfindlicher Filme und Verstärkerfolien. Die Filme sollen dabei eine möglichst steile Gradationskurve haben (Gradation = die Art, wie die lichtempfindliche Schicht stufenweise zunehmende Helligkeitswerte aufzeichnet).

4. Die Verwendung von Bleischürzen zum Gonadenschutz ist dabei unbedingt erforderlich. Ebenso sollte die technische Überwachung und absolute Zuverlässigkeit der Röntgengeräte zur Selbstverständlichkeit werden. Bleiblende und Bleischürze ergänzen einander (E. HAUSSER (15), TH. KIRSCH (22)).

Verwacklungen bei der Herstellung der frontalen Fernröntgenaufnahme durch Unruhe des Patienten infolge der längeren Expositionszeit können hierbei nur durch die Anwendung eines Kopfeinstellgerätes oder "Cephalostaten" vermieden oder weitestgehend ausgeschaltet werden. Deshalb suchte man bereits frühzeitig nach Wegen, um die Patienten nach möglichst allgemein anerkannten anthropologischen Bezugspunkten, Linien und Ebenen in einem Kopfeinstellgerät (von BROADBENT (5) als "headholders" bezeichnet) zu orientieren.
Entsprechend der wenigen Hinweise im Schrifttum auf das frontale Fernröntgenbild gibt es dafür auch wenige Angaben über Orientierungsgeräte.
Da diese im Konstruktionsprinzip jedoch den Einstellgeräten für Aufnahmen ausschließlich in der Norma lateralis entsprechen, sollen im folgenden auch letztere mit in die Betrachtungen einbezogen werden.
Nach welchen anthropologischen Bezugspunkten, Linien und Ebenen soll nun ein Patient überhaupt orientiert werden? C.F. MOORREES und M.R. KEAN (28) vertreten die Ansicht, daß man den Kopf in seiner natürlichen (physiologischen)

Haltung orientieren solle. Sie äußern folgendes:

"Die Frankfurter Horizontale (1884) ist wohl am bekanntesten und kommt wahrscheinlich der physiologischen Horizontalen am nächsten, welche maximale Unterschiede in der Gesichtskonfiguration zwischen Rassengruppen aufzeigt und vermutlich die kleinste Variabilität innerhalb dieser Gruppen besitzt".

Die Frankfurter Horizontale stellt also eine Bezugsebene zum Studium des gesamten Gesichts- und Hirnschädels dar. Sie ist deshalb "physiologisch", weil sie am ehesten beim aufrechtgehenden Menschen parallel zum Boden verläuft und deshalb am besten reproduzierbar ist.

In diesem Zusammenhang wird verdeutlicht, daß die Wahl der Bezugslinien die Beurteilung des gleichen Cephalogrammes erheblich beeinflussen kann, ob der Patient also z.B. nach der Frankfurter Horizontalen oder der Camper'schen Ebene für die Aufnahme ausgerichtet war.

Die Orientierung nach der Frankfurter Horizontalen ist von großer Bedeutung für die Einstellung des Zentralstrahles. Nach K. NAWRATH (30, 31) werden nämlich bei Ausrichtung des Zentralstrahles auf diese Ebene die dichten Schatten des os occipitale in den gnathometrischen Bezirk hineinprojiziert. Aus diesem Grunde hält er eine ventrale Neigung des Kopfes um 10 bis 15 Grad und die Lenkung des Strahlenzentrums auf den Subnasalraum, ohne die Längenwerte im vertikalen Symmetrievergleich wesentlich zu beeinflussen, für günstiger. Allgemein sollte der Zielpunkt im Zentrum des Interessengebietes liegen. Der Autor zeigt anhand von Versuchen, daß mit Veränderung des Zielpunktes am Objekt erhebliche projektorische Verzerrungen auftreten können.

Einige wichtige anthropologische Bezugspunkte für die Orientierung sind: Nasion, Subnasale, Gnathion, Orbitale und Tragion.

Die drei wichtigsten Ebenen sind:

1. Sagittal-Medianebene (SME),

2. Frankfurter Horizontale (FH) und
3. Orbitalebene (OE).

Aufgrund der Festlegung und Definition dieser Bezugspunkte, Bezugslinien und Bezugsebenen kann man entsprechende Kopfeinstellgeräte konstruieren.

a) Verschiedene Einstellgeräte

Auch bei der posterior-anterioren Projektion erfolgt die Fixierung des Schädels wie bei der lateralen Fernröntgenaufnahme in der Regel nach der Frankfurter Horizontalen. Die Filmkassette befindet sich dabei in mäßig wechselndem Abstand unmittelbar vor dem Gesicht des Patienten (nach E. HAUSSER (15) muß dabei ein möglichst kleiner Objekt-Filmabstand gewahrt werden, um projektorische Verzeichnungen möglichst gering zu halten), senkrecht zum einfallenden Zentrahlstrahl. Der Zentralstrahl wird auf das Zentrum der Filmkassette gerichtet. Der angewandte Focus-Filmabstand beträgt minimal 1,50 m, maximal 4 m. Die Cephalostaten zur Herstellung von frontalen Fernröntgenaufnahmen können nach der Art des Aufnahmesystems in zwei Gruppen eingeteilt werden (D. BRAUN (4)).
Bei der einen Gruppe wird zur Herstellung von Fernröntgenaufnahmen ein Röntgenapparat verwendet, was jedoch zwei Einstellungen des Patienten, nämlich je eine für die frontale und seitliche Schädelaufnahme, erforderlich macht.
Ein typischer Vertreter dieser Gruppe ist beispielsweise ein Orientierungsgerät nach G. KORKHAUS (23, 25), der für die Aufnahmen in der Norma lateralis Profil- und Tragiazeiger (für die Darstellung des Nasion, Subnasale,Gnathion und der Tragia) benützt, für diejenigen in der Norma frontalis Orbitalzeiger (für das linke Orbitale), eine Glabellastütze und Tragiazeiger.

Profil- und Tragiazeiger werden unter anderem auch von O. HOFFER (18) verwendet (Craniostat nach HOFFER).
E. HAUSSER (15) macht für seine frontalen Aufnahmen von

dem Einstellgerät nach G. KORKHAUS (23. 25) Gebrauch, wobei die Median-Sagittalebene gleichlaufend mit dem Zentralstrahl senkrecht zur Kassette ausgerichtet wird und mit Hilfe der Zeiger die entsprechenden anthropologischen Punkte fixiert werden.
In diese Gruppe sind auch die von J. KULKARNI (27) erwähnten Einstellgeräte nach GRIFFIN, MEYER-HOFFMANN, MARGOLIS, THUROW und WEINGART einzureihen.
A. ULRICH (37) verwendet für seine Dissertation ein Kopfhaltegerät der Zürcher Klinik. Hierbei stützt der Patient seinen Kopf, vornüber gebeugt, auf ein Tischchen, wo er das Gesicht direkt auf die Kassette auflagert, gleichzeitig durch Ohrstifte und an der Stirn durch einen verschiebbaren Holzkeil fixiert. Die Projektionsrichtung verläuft von der Protuberantia occipitalis externa zur Spina nasalis anterior. Dieses Gerät erlaubt allerdings nur eine in gleicher Richtung erfolgende Einzelaufnahmetechnik.
Bei dem von K. NAWRATH (31) entwickelten Orientierungsgerät erfolgt die Einstellung des Schädels zur frontalen Aufnahme mit Hilfe eines aus Kunststoff bestehenden viereckigen Kopfrahmens mit Brillengestell, welches der Patient aufsetzt. Der Rahmen besitzt an einer Ecke eine "Dosenlibelle" (Wasserwaage), die eine gute Ausrichtung in der horizontalen und sagittalen Richtung ermöglicht. Bei tastender Anlehnung der Rahmenkante an die fixierte Filmkassette können frontale Röntgenbilder hergestellt werden. Die Frankfurter Horizontale liegt bei diesem Einstellgerät allerdings nicht wie bei den übrigen Cephalostaten senkrecht zur Filmebene, sondern etwas nach ventral und caudal geneigt, da sonst nach seiner Meinung die dichten Schatten des os occipitale in den gnathometrischen Bezirk hineinprojiziert werden.

Bei der anderen Gruppe werden zur Herstellung der Fernröntgenaufnahmen mehrere Röntgenapparate (meist zwei) benutzt, welche genau rechtwinklig in bestimmtem Abstand zueinander orientiert sind und somit den Patienten, der nur

einmal ausgerichtet wird, aus verschiedenen Richtungen gleichzeitig röntgen.
Nach dieser Methode arbeiten der Cephalostat und der BROADBENT-BOLTON-Cephalometer (nach D. BRAUN (4)). Zwei Röntgenapparate sind seitlich und hinter dem Patienten so aufgestellt, daß sich die beiden Zentralstrahlen im rechten Winkel treffen und auf die Frankfurter Horizontale ausgerichtet sind. Als Cephalostat im engeren Sinn wird ein zahnärztlicher Spezialstuhl mit Kopforientierungsgerät und zwei Kassettenhaltern bezeichnet. Beim Berner Cephalostaten wird der Schädel mittels Tragial-, Infraorbital- und Nasionzeigern in seiner Lage fixiert, beim BROADBENT-BOLTON-Cephalometer mittels zweier Ohroliven und einer Nasenwurzelsütze.

b) Das Tübinger Einstellgerät

Das Tübinger Einstellgerät, mit dessen Hilfe die für meine experimentellen Untersuchungen benötigten frontalen Fernröntgenaufnahmen gemacht wurden, wird von CHR. HEPBURN (16) beschrieben.
Mit diesem Gerät ist es möglich, mit einem Röntgengerät Aufnahmen in der Norma lateralis und frontalis anzufertigen. Das Prinzip beruht in einer festen Relation des Zentralstrahles zur Frankfurter Horizontalen.
Der Patient wird mit Hilfe eines Motorstuhles soweit hochgefahren, bis die Tragiazeiger und die Glabellastütze genau auf den ihnen zugeordneten Weichteilpartien zu liegen kommen. Je nachdem, ob nun eine Aufnahme in der Norma lateralis oder frontalis gewünscht wird, läßt sich der Stuhl mit dem Patienten und die gesamte Einstellvorrichtung mit der Kassette um genau 90 Grad drehen.

4. Methoden der Analyse der frontalen Fernröntgenaufnahme

Man muß feststellen, daß Literaturhinweise zur Analyse der frontalen Fernröntgenaufnahmen sehr rar sind.
Im folgenden seien deshalb die wenigen Verfahren genauer

beschrieben:

A. ULRICH (37)gibt in seiner Dissertation zwei Beispiele für die röntgenologische Darstellung von Strukturen des Schädels an.
Die eine Möglichkeit zur Herauskristallisation von Strukturen besteht in der Einbringung von Metallimplantaten in leere Alveolen (das Verfahren ist am mazerierten Schädel durchführbar, am Patienten jedoch nicht), die andere im Anwenden des Tomogrammverfahrens (Schichtaufnahmetechnik), welches nach seiner Ansicht jedoch nicht für Untersuchungen in größerem Rahmen geeignet ist. In dieser Dissertation soll die Frage geklärt werden, ob bei der forcierten Dehnung des Oberkiefers eine Erweiterung des Nasenraumes eintritt. Die gemessenen Veränderungen liegen jedoch zum Teil nahe an der Fehlergrenze, wodurch Aussagen nur bedingt zu machen sind (zum Teil konnten erhebliche Erweiterungen bis zu 5 mm festgestellt werden).
In der Dissertation von W. EICHER (12) wird die Zuverlässigkeit eines neuen Koordinatensystems überprüft, welches auf den durch Dionosil gefüllten (Dionosil = Röntgenkontrastmittel, welches in die äußeren Gehörgänge eingebracht und mit Alginat verschlossen wird) Tympanalia, auf dem Nasion und dem linken Infraorbitale basiert. Die statistische Prüfung zeigt, daß dieses Koordinatensystem für weiterführende Untersuchungen eine ausreichende Genauigkeit besitzt.
R. STÄPFLI (36) stellt einen neuen cephalometrischen Meßpunkt am Eingang zum Meatus acusticus externus mit Bleikugeln dar, die in einen Silikon-Abdruck des Meatus acusticus externus eingelegt werden. Der Autor weist auf die dabei auftretenden Fehlerquellen bei der Analyse der Aufnahmen hin. Die Gesamtfehlerquelle summiert sich aus:

1. Anatomischen Lokalisationsfehlern.
2. Methodenfehlern (Bleikugeln nicht immer in der gleichen Position).
3. Wachstumsveränderungen (z.B. Streckenwachstum einiger

Strecken pro Jahr: N - S = 0,75 mm, S - MA (MA = Meßpunkt für Meatus acusticus externus) : 0,5 mm, N - MA = 0,1 mm).

Der markierte Punkt = MA dient als Origo in einem bestimmten Koordinatensystem.
Das für die kieferorthopädische Diagnose besonders wichtige Seitenzahngebiet im Oberkiefer haben D. BRAUN (4) und R. HAGEMANN (14) dadurch röntgenologisch dargestellt, daß sie Bleistreifen in eine Wachsschablone einlegten, welche durch Adaptation von Wachsplatten auf dem Patientenabdruck gewonnen wurde. Diese von D. DAUSCH-NEUMANN (7, 8, 9) angegebene Methode bietet die Möglichkeit, mit diesen Bleikontraststreifen die Zähne des anterioren und posterioren Oberkieferzahnbogens, sowie den Verlauf der Weichteilgaumenkurvatur und die Kurvatur des processus alveolaris superior darzustellen. D. BRAUN (4) untersucht mit dieser Methode die Kieferkompression im frontalen Fernröntgenbild und kommt zu dem Ergebnis, daß ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Verengung des Zahnbogens und der Breite der apikalen Basis besteht.
Kein Zusammenhang besteht jedoch zwischen der Breite des komprimierten Zahnbogens und der Gaumenhöhe.
R. HAGEMANN (14) wendet dieses Verfahren beim Deckbiß an und erzielt damit aussagekräftige Resultate:

1. Die apikale Basis ist beim Deckbiß signifikant größer als bei der Kieferkompression.
2. Prämolaren und Molaren stehen in Bezug auf die apikale Basis steiler.
3. Die unteren Sechsjahrmolaren sind beim Deckbiß stärker nach lingual gekippt.
4. Die Mittelwerte der vertikalen Strecken $LC_1 - ZY_1$ und $LC_2 - ZY_2$ sind signifikant unterschiedlich groß.

Die meinem Verfahren wohl ähnlichste Methode ist die von H. KINAST (21). Sie soll im folgenden dargestellt werden.

KINAST hat sich mit der Problematik der Übertragung von Zahnachsen in das frontale Fernröntgenbild in einer Arbeit von 1974 befaßt. Der Autor ist der Ansicht, daß die frontalen Aufnahmen erst durch genaue Achsenrichtungen der Zähne eine wirkliche Aussagekraft erhalten. Hierzu sind drei wesentliche Grundgedanken zu verwirklichen. Es gilt

a) Eine Methode zur Bestimmung von Zahnachsen,
b) eine Methode zur Orientierung eines Kieferabgusses,
c) eine Methode zur Übertragung der Winkel in die frontalen Fernröntgenaufnahmen zu finden.

a) Methode zur Bestimmung von Zahnachsen

Die Voraussetzungen zur Winkelübertragung in eine frontale Aufnahme sind nach KINAST:

1. Schaffung von Hilfsvorrichtungen, die auf die Kauflächen bestimmter Zähne montiert werden können und einen Zeiger besitzen, der der jeweiligen Verlängerung der Zahnachse entspricht.

2. Orientierungsmöglichkeit eines Kiefermodells und eines Winkelmessers zueinander nach einem stets zu reproduzierenden System.

3. Übereinstimmung des Orientierungssystems, nachdem der Winkel der Zahnachse festgelegt ist und der Fernröntgenbilder frontal und seitlich.

KINAST geht von der Benutzung eines Bezugssystems, nämlich den drei Ebenen des Raumes aus.
Es gilt nun zunächst einen Kieferabguß nach diesem dreidimensionalen System zu orientieren. Zu diesem Zwecke sind jedoch einige Vorarbeiten notwendig.
H. KINAST hat zunächst den Versuch unternommen, anhand von 30 extrahierten Prämolaren mit Hilfe von Metallplättchen und darauf montierten Zeigern, die Zahnachsen zu symbolisieren. Er definiert dabei die Achsen wie folgt:
Verbindung Fissurenmittelpunkt zum Mittelpunkt einer Geraden durch die beiden Wurzelspitzen. Läßt man nun den buccalen

und palatinalen Höcker ein Metallplättchen berühren, auf dem rechtwinklig ein Zeiger montiert ist, so differiert dieser um 11 bis 17 Grad von der wirklichen Zahnachse, im Mittel um 14 Grad.
Dieser Fehler ist nun leicht dadurch auszugleichen, daß man den Zeiger um den entsprechenden Betrag abwinkelt (s. Abb. 2a - d).

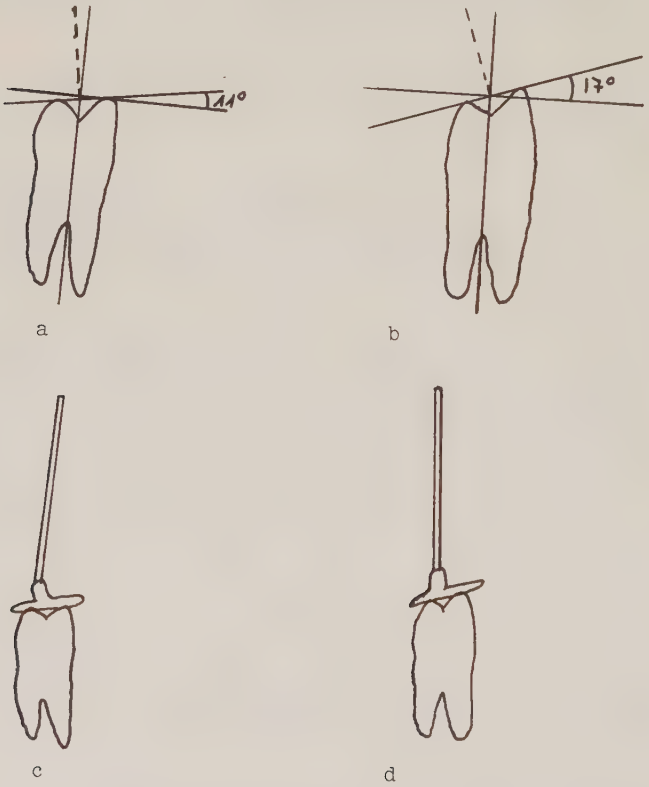


Abb. 2a - d Methode nach KINAST, um Zahnachsen zu symbolisieren. Die auf Metallplättchen montierten Zeiger sind um einen statistisch ermittelten Wert abgewinkelt.

b) Methode zur Orientierung eines Kieferabgusses

Eine zuverlässige Ebene, die sowohl auf dem Kieferabguß als auch in den Fernröntgenaufnahmen gut zu finden ist, verläuft durch die mesio-palatinalen Höckerspitzen der oberen ersten Molaren und durch den vorspringendsten Punkt im Bereich der oberen mittleren Incisivi.
Diese Ebene wird von H. KINAST auch als **Übertragungsebene** bezeichnet. Sie wird mit Hilfe einer Einstellplatte, die durch eben diese Punkte gelegt wird und gleichzeitig verschiebliche Stifte zur Markierung der Raphe-Medianebene besitzt,markiert und auf den Modellträger eines Parallelometers gebracht. Das zu diesem Zwecke umfunktionierte Gerät von NEY enthält folgende Teile:
Im verschieblichen Arm ist ein Winkelmesser mit einem Nachführzeiger installiert, die Bodenplatte mit dem Modellträger läßt sich genau horizontalisieren, ferner die Zahnachsenplättchen und die Einstellplatte (s. Abb. 3).

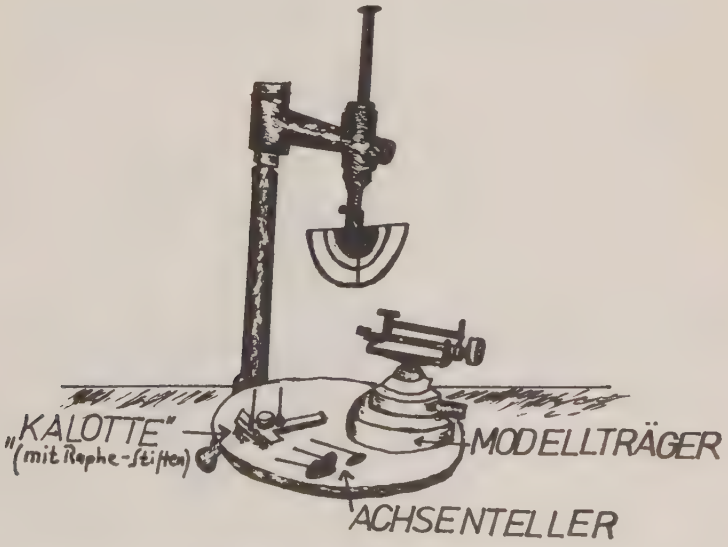


Abb. 3 NEY-Parallelometer mit Zubehör.

Man hat somit die Möglichkeit, den Kieferabguß nach drei Ebenen zu orientieren, nämlich einer Transversalebene, einer Median-Sagittalebene und einer Übertragungsebene, welche allesamt senkrecht zueinander stehen. Nachdem das Modell derart eingestellt ist, kann man die Einstellplatte wegnehmen und nun die Zahnachsenplättchen auf den Prämolaren und Molaren mit einem bestimmten Wachs, welches bereits bei Zimmertemperatur Klebewirkung besitzt, aufbringen. Danach wird der Modelltisch parallel zum Winkelmesser solange verschoben, bis die symbolisierten Zahnachsen und der Nachführzeiger fluchten. Nunmehr sind die Winkelgrade leicht abzulesen. Durch Drehen des Modelltisches um genau 90 Grad kann auch der Grad der Kippung der Prämolaren und Molaren nach mesial oder distal gemessen werden.
Somit ist auch eine Übertragungsmöglichkeit für das seitliche Fernröntgenbild gegeben (s. Abb. 4).

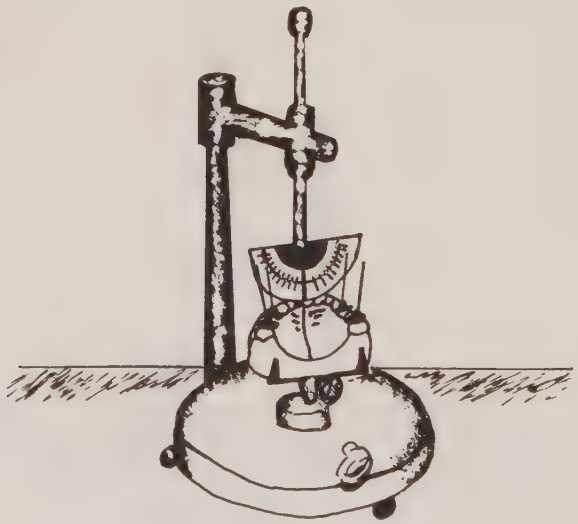


Abb. 4 Kieferabguß mit Parallelometer orientiert.

c) Methode zur Übertragung der Winkel in die frontalen Fernröntgenaufnahmen

Nach Durchführung aller Messungen wird zunächst die Übertragungsebene eingezeichnet. Die Nachzeichnung der Zähne ist durch Sichtbarmachung mittels Bleistreifenschablone nach der von D. BRAUN (4) und R. HAGEMANN (14) praktizierten Methode möglich. Die am Modell gemessene erste Molaren - Distanz auf das Röntgenbild übertragen gibt Aufschluß darüber, ob eine projektorische Verzerrung zu berücksichtigen ist oder nicht, das heißt,man muß die Original- und Bilddistanz auf eventuell erfolgte Längenänderungen untersuchen.
Sind nun sämtliche Winkel übertragen, wird die Strecke JL-JR eingezeichnet. Sie dient der Größenmessung der apikalen Basis. Es sind dies der linke und rechte Übergang des processus zygomaticus maxillaris in den Alveolarfortsatz in Höhe der Wurzelspitzen.
In gleicher Weise erfolgt die Übertragung auf die seitliche Fernröntgenaufnahme, wobei auch hier zunächst die Übertragungsebene eingezeichnet wird (s. Abb. 5, 6).

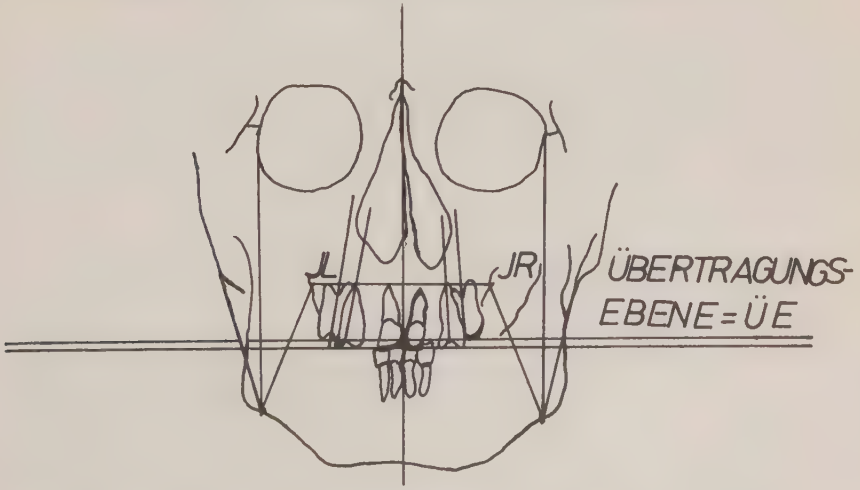


Abb. 5 Einzeichnen der Übertragungsebene (ÜE) in frontale Fernröntgenaufnahmen.

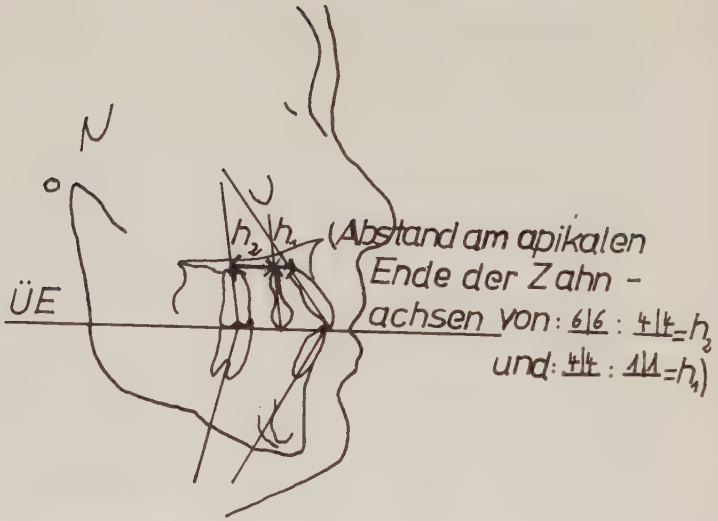


Abb. 6 ÜE (Übertragungsebene) ist in die seitliche Fernröntgenaufnahme eingezeichnet.

Es gilt nun, die apikale Basis in eine möglichst einfache mathematische Figur umzuwandeln.
Sie setzt sich zusammen aus einem Dreieck mit der Basis:

Abstand des apikalen Endes der Zahnachsen der Prämolaren und der Höhe h_1 und einem Trapez mit der Basis:

Abstand des apikalen Endes der Zahnachsen der ersten Molaren und der Höhe h_2.

Aus dem Verhältnis: Apikale zu coronale Basis kann nun der kieferorthopädisch Kundige Rückschlüsse für eine Therapie ziehen (s. auch Abb. 7).

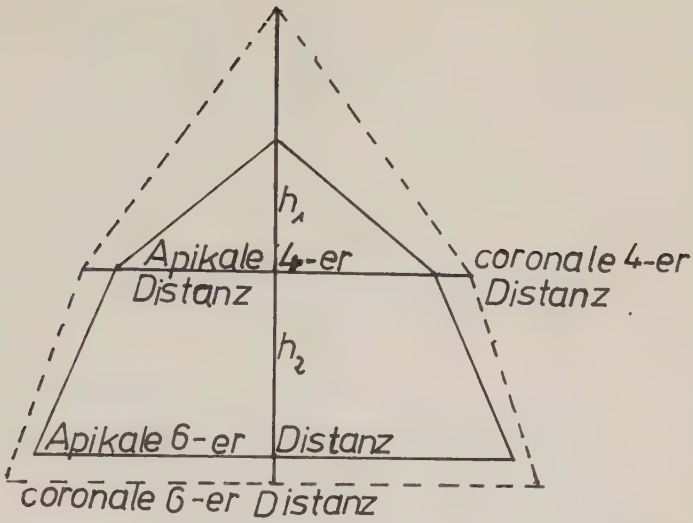


Abb. 7 Graphische Darstellung der apikalen und coronalen Basis (apikale Basis: ————, coronale Basis: ---------).

Diese Methode stellt also den Versuch dar, die Aussagekraft der frontalen Fernröntgenaufnahmen durch die Konstruktion genauer Zahnachsen zu erhöhen.

5. Auswertung der frontalen Fernröntgenaufnahmen

Nach D. BRAUN (4) und R. HAGEMANN (14) sind zur Auswertung der Frontalaufnahmen folgende Meßpunkte, Strecken und Winkel relevant (sie sind anhand der Abbildungen 8 und 9 erklärt).

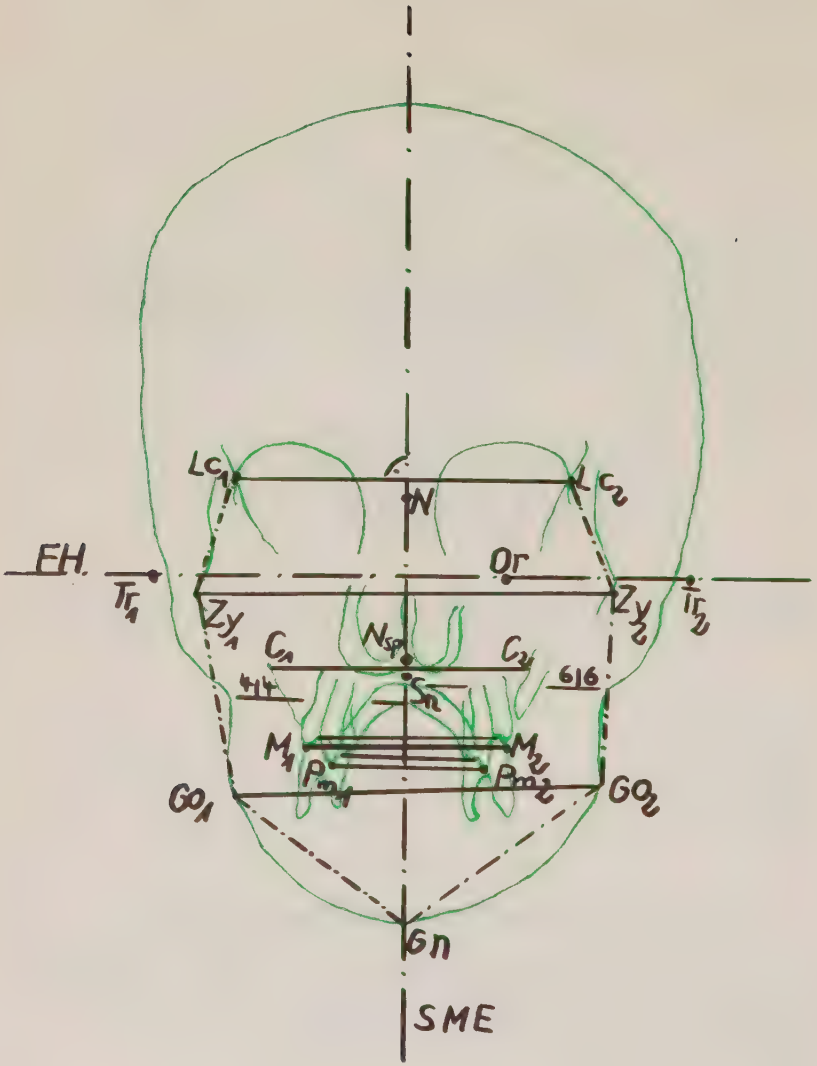


Abb. 8 Lage der verschiedenen Meßpunkte und Strecken in der frontalen Fernröntgenaufnahme

Mediane Meßpunkte:

1. N = Nasion: Kreuzungspunkt der Median-Sagittalebene mit der Sutura naso-frontalis.

2. Nsp = Nasospinale: Tiefster Punkt des Unterrandes der Apertura piriformis, auf die Median-Sagittalebene projiziert.

3. Gn = Gnathion: Am weitesten vorne und unten liegender Punkt des knöchernen Kinns.

(Sn = Subnasale: Kreuzungspunkt des Unterrandes der Nasenscheidewand mit dem Ansatz der Weichteiloberlippe).

Laterale Meßpunkte:

1. Lc_1 und Lc_2 = Laterocraniale (nach KULKARNI; von SASSOUNI auch als Lateroorbitale bezeichnet): Bilateraler Schnittpunkt zwischen dem äußeren Orbitalrand und der schräg verlaufenden Projektion (linea innominata) des großen Keilbeinflügels.

2. Or = Orbitale : Punkt des linken knöchernen Infraorbitalrandes, senkrecht unterhalb der Pupille des geradeausblickenden Auges.

3. Tr_1 und Tr_2 = Tragia: Punkt am Vorderrand des Ohrtragus, die an der Kreuzungsstelle einer an den Vorderrand und einer an den Oberrand des Knorpels gelegten Tangente liegen.

4. Zy_1 und Zy_2 = Zygion: Der lateralwärts am weitesten vorspringende Punkt am Jochbogen.

5. C_1 und C_2 : Begrenzungspunkte für die apikale Basis des Oberkiefers. Breiteste Stelle der Oberkieferbasis vor dem Übergang in das os zygomaticum.

6. M_1 und M_2 = Molare: Obere Molarpunkte auf den bukkalen Höckern der ersten Molaren.

7. Pm_1 und Pm_2 = Prämolare: Obere Prämolarpunkte auf den bukkalen Höckern der ersten Prämolaren.

8. Go_1 und Go_2 = Gonion: Der am weitesten lateral gelegene Kieferwinkelpunkt, in welchem der Unterkieferkörper und der hintere Rand des aufsteigenden Astes zusammentreffen.

Verbindungslinien (Strecken) und Ebenen:

1. Lc_1 und Lc_2 = Laterocraniallinie: Die Verbindung der beiden laterocranialen Punkte.

2. SME = Sagittal-Medianebene : Ebene, die senkrecht auf der Laterocraniallinie steht und durch den Nasionpunkt (N) verläuft.

. FH = Frankfurter-Horizontale : Ebene, die durch die beiden Tragiapunkte Tr_1 und Tr_2, sowie durch den tiefstgelegenen Punkt des unteren Augenhöhlenrandes Or (Orbitale) geht.

. Zy_1 - Zy_2 = Zygionlinie: Verbindungsstrecke zwischen den beiden am weitesten lateral gelegenen Jochbogenpunkten.

. C_1 und C_2 : Meßstrecke für die Breite der apikalen Basis des Oberkiefers.

. . Posteriorer Zahnbogen : Transversaler Abstand der beiden ersten Molaren des Oberkiefers voneinander. Meßpunkt ist jeweils der Schnittpunkt der mesialen H-Fissur des Molaren mit der Verbindungslinie.

7. M_1 - M_2 = Molarlinie: Die Verbindung der bukkalen Höcker der in Okklusion befind-

lichen ersten Molaren des Oberkiefers.

8. Anteriorer Zahnbogen : Transversaler Abstand der beiden ersten Prämolaren des Oberkiefers voneinander. Meßpunkt ist jeweils der Schnittpunkt der Mittelfissur der Prämolaren mit der Verbindungslinie.

9. Pm_1 - Pm_2 = Prämolarlinie: Die Verbindung der bukkalen Höckerspitzen der in Okklusion befindlichen ersten Prämolaren des Oberkiefers.

10. Go_1 - Go_2 = Bigoniallinie: Die transversale Verbindung beider Unterkieferwinkelpunkte (Gonia) miteinander.

11. Gaumenhöhe bei 4/4 : Abstand zwischen dem auf die Median-Sagittalebene projizierten höchsten Punkt der anterioren Weichteilgaumenkurvatur und der Verbindungslinie des anterioren Zahnbogens.

12. Gaumenhöhe bei 6/6 : Abstand zwischen dem auf die Median-Sagittalebene projizierten höchsten Punkt der posterioren Weichteilgaumenkurvatur und der Verbindungslinie des posterioren Zahnbogens.

Weitere Meßstrecken sind noch folgende Verbindungslinien:

Lc_1 - Zy_1, Lc_1 - C_1 und Lc_2 - Zy_2, Lc_2 - C_2

Zy_1 - Go_1 und Zy_2 - Go_2

C_1 - M_1, C_1 - Pm_1 und C_2 - M_2, C_2 - Pm_2

Go_1 - Gn und Go_2 - Gn

(Lage der verschiedenen Winkel in der frontalen Aufnahme s. Abb. 9).

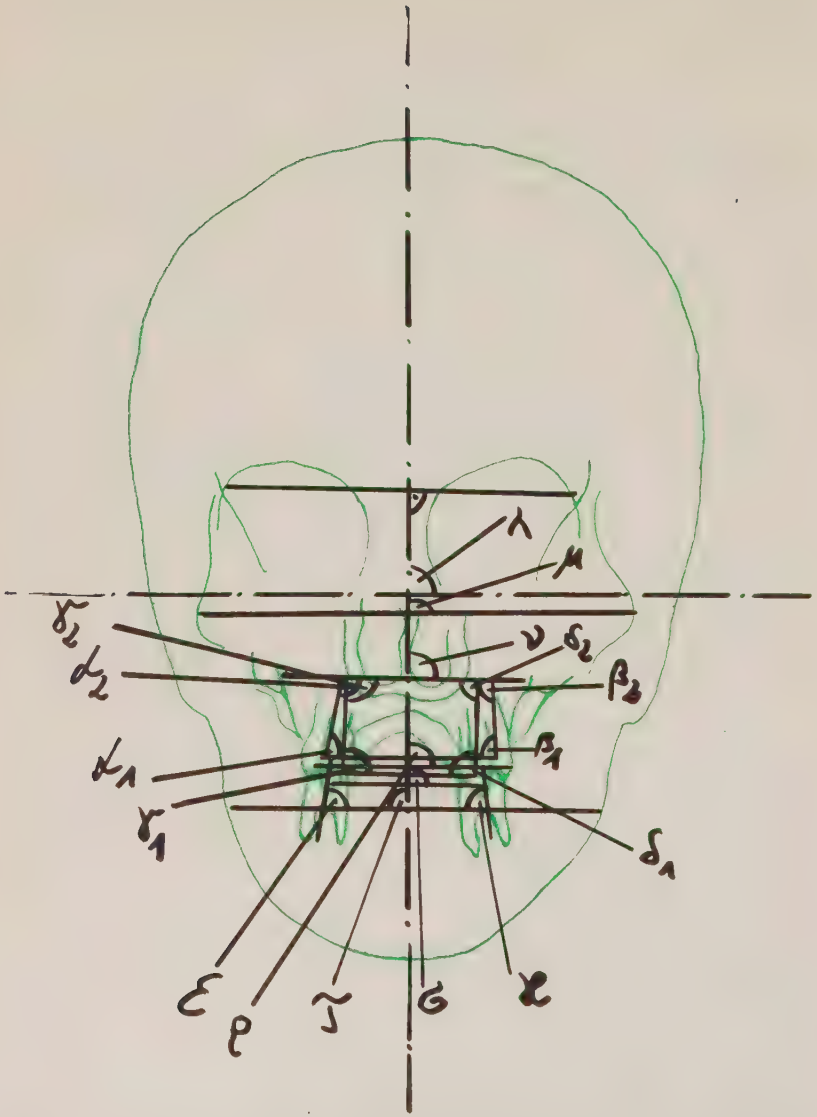


Abb. 9 Lage der verschiedenen Winkel in der p.a.-Aufnahme

Winkel:

1. $\sphericalangle \alpha_1$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse rechter oberer erster Molar und der Verbindungslinie des posterioren Zahnbogens.

2. $\sphericalangle \alpha_2$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse rechter oberer erster Molar und der Strecke $C_1 - C_2$.

3. $\sphericalangle \beta_1$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse linker oberer erster Molar und der Verbindungslinie des posterioren Zahnbogens.

4. $\sphericalangle \beta_2$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse linker oberer erster Molar und der Strecke $C_1 - C_2$.

5. $\sphericalangle \gamma_1$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse rechter oberer erster Prämolar und der Verbindungslinie des anterioren Zahnbogens.

6. $\sphericalangle \gamma_2$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse rechter oberer erster Prämolar und der Strecke $C_1 - C_2$.

7. $\sphericalangle \delta_1$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse linker oberer erster Prämolar und der Verbindungslinie des anterioren Zahnbogens.

8. $\sphericalangle \delta_2$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse linker oberer erster Prämolar und der Strecke $C_1 - C_2$.

9. $\sphericalangle \varepsilon$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse rechter unterer erster Molar und der Strecke $Go_1 - Go_2$ (Bigoniallinie).

10. $\sphericalangle \varkappa$: Winkel zwischen dem Verlauf der Zahnachse linker unterer erster Molar und der Strecke $Go_1 - Go_2$.

Diese angeführten Winkel sind ein Maß für die kieferbezügliche Achsenstellung der Seitenzähne in der Transversalen. Neben den rein kieferbezüglichen (gnathometrischen) Winkelangaben interessieren an schädelbezüglichen (craniometrischen) Winkeln in der Fernröntgenaufnahme der Norma frontalis folgende, vor allem:

1. ∢λ : Winkel zwischen der Sagittal-Medianebene und der Frankfurter Horizontalen.

2. ∢μ : Winkel zwischen der Sagittal-Medianebene und der Zygionverbindungslinie.

3. ∢ν : Winkel zwischen der Sagittal-Medianebene und der Verbindungslinie der apikalen Basispunkte des Oberkiefers.

4. ∢ϱ : Winkel zwischen der Sagittal-Medianebene und der Molarlinie.

5. ∢ϭ : Winkel zwischen der Sagittal-Medianebene und der Prämolarlinie.

6. ∢ζ : Winkel zwischen der Sagittal-Medianebene und der Bigoniallinie.

Wenn ein Winkel größer beziehungsweise kleiner als 90 Grad ist, so bedeutet das eine rechts- beziehungsweise linksseitige Schwenkung der betreffenden waagrecht verlaufenden Strecke, wobei eine Abweichung vom rechten Winkel beim Winkel ν ein Maß für die Schwenkung der Oberkieferbasis, beim Winkel ϱ und ϭ ein Maß für die Schwenkung der Kauebene im Bereich des posterioren beziehungsweise anterioren Zahnbogens zur Sagittal-Medianebene darstellt.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

a) Untersuchtes Material

Zur praktischen Durchführung meiner Versuche (Aufkleben von Bleikügelchen auf die Okklusalflächen entsprechender Zähne, Einbringen des individuellen Spannstiftes usw.) dienten mir einerseits mazerierte Schädel mit vollständiger oder lückiger Zahnreihe, andererseits ein Proband.

Die Testperson weist harmonische Zahnbögen auf und war nicht in kieferorthopädischer Behandlung.

Die frontalen Fernröntgenaufnahmen wurden an der Zahnklinik Tübingen mit dem Tübinger Einstellgerät gemacht und im Hinblick auf eine bessere Strukturendarstellung kieferorthopädisch relevanter Kieferbereiche untersucht.

b) Technische Daten

Für meine Versuche gelten folgende technische Daten:

1. Film-Fokusabstand: 4 m
2. Röhrenspannung : 60 - 70 KV
3. Stromstärke : 160 mAs

Verwendetes Filmmaterial:

1. Film = Cronex 24 x 30 cm
2. Verstärkerfolie = IAMPLI Type XH 2000/06 ohne Bleieinlage.
   Format 24 x 30 cm

c) Möglichkeiten zur röntgenologischen Darstellung von Fissurenmeßpunkten, sowie der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatzkurvaturen

1. Einfaches Markieren der Fissurenmeßpunkte durch Blei-Kügelchen.

Das Markieren der Fissurenmeßpunkte stellte sich dann als ergebnislos heraus, wenn die entsprechenden Zähne Amalgamfüllungen besitzen (sehr häufig bei Sechsjahrmolaren) und dadurch ein Verschwimmen der beiden Fremdkörperschatten erfolgt. Es ist dann eine strukturenmäßige Trennung beider Metalle nicht mehr möglich.

2. Einbringen von individuellen Spannstiften in den Mund zur röntgenologischen Darstellung der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatzkurvaturen.

Zur Darstellung einer exakten Zahnachsenrichtung ist es notwendig, den Bi-, beziehungsweise Trifurkationsmittelpunkt oder die Wurzelspitzen zu kennen.

Die Zahnachse ergibt sich durch Verbindung des Fissurenmittelpunktes mit dem Mittelpunkt der Bi- beziehungsweise der Trifurkation beziehungsweise mit der Wurzelspitze der entsprechenden Zähne (Wurzelspitzendarstellung siehe bei d)

Die Versuche gingen dahin, individuell in die Mundhöhle einzubringende Spannstifte, die sterilisierbar sind, anzuwenden. Somit sind relativ schnell die Gaumenkurvaturen im Bereich oberer rechter Prämolar bis oberer linker Prämolar beziehungsweise oberer rechter Molar bis oberer linker Molar, die Zahnkronen dieser Zähne, sowie die Gaumenhöhe darstellbar.

Das zu diesem Zweck angefertigte Gerät (siehe Abb. 10,11) ist am Patienten anwendbar, erfordert jedoch bei der Ein-

bringung ins cavum oris eine hohe manuelle Geschicklichkeit.

3. Adaptation eines Zinnfolienbandes zur Darstellung der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatzkurvaturen.

Die beste und einfachste Möglichkeit zur Darstellung der Kronen-, Gaumen-und Alveolarfortsatzkurvaturen ist die, daß über die darzustellenden Strukturen ein Zinnfolienband adaptiert und mit einer Drahtligatur befestigt wird, wodurch gleichzeitig die Circumferenz des entsprechenden Zahnes sichtbar wird.

Will man dieses Verfahren noch mehr vereinfachen, genügt die Markierung der Fissurenmeßpunkte, was allerdings bei einem amalgamgefüllten Zahn zur Übereinanderprojektion von Markierung und Füllung und damit zum Verschwimmen beider Fremdkörperschatten führen kann.

Man wird also von Fall zu Fall eine der genannten Möglichkeiten heranziehen. (Individueller Spannstift siehe Abb. 10, 11)

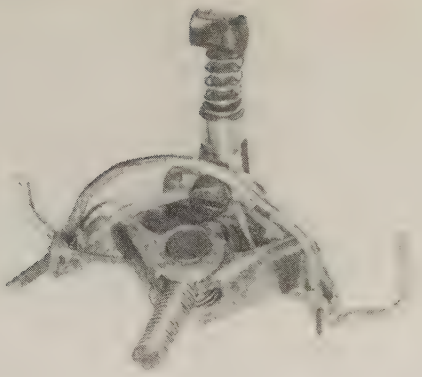


Abb. 10 Individueller Spannstift zur röntgenologischen Darstellung kieferorthopädisch relevanter Strukturen in der frontalen Fernröntgenaufnahme.

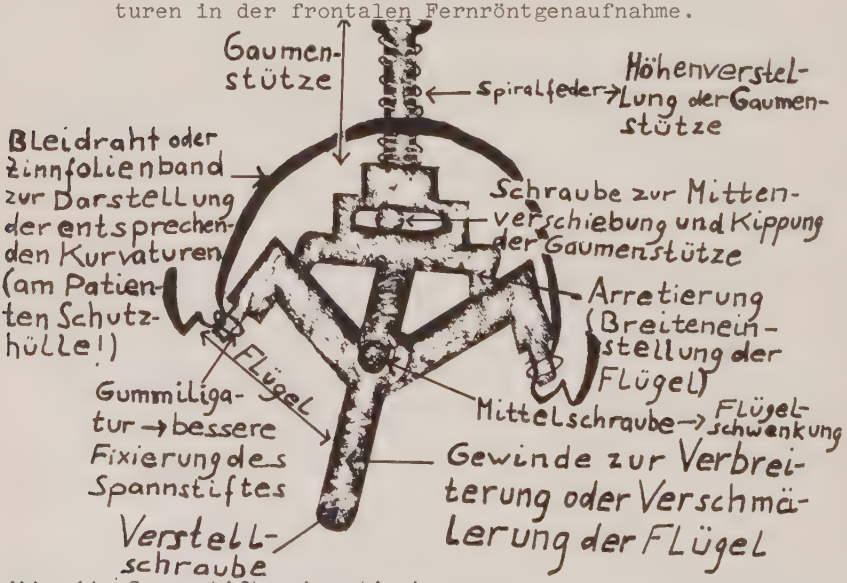


Abb. 11 Spannstift schematisch

Ferner schien es mir zweckmäßig, die äußere Kurvatur des processus alveolaris des Oberkiefers mit einem eingelegten Draht zu markieren. Auf diese Weise wird ein Aufschluß möglich über die Distanz der Wurzelspitzen zur Schleimhautaußenseite und somit über die Knochendicke in diesem Bereich. Knochenumbauvorgänge, wie sie durch eine kieferorthopädische Therapie erfolgen, die sich durch Apposition und Knochenresorption äußern, sind auf diese Weise zu verfolgen.

Die Darstellung der beschriebenen Struktur ist jedoch nicht unbedingt notwendig, da das mit Ligaturen befestigte Band über den Alveolarfortsatz bis zur Gingiva vestibularis, also in die Gegend der Umschlagfalte reicht, und somit ebenfalls ein Eindruck darüber vermittelt wird.

4. Einlagerung von Blei- oder Zinnstreifen in einen Silaplastabdruck des Patientenkiefers.

Als weitere Alternative zum individuellen Spannstift bietet sich die Möglichkeit an, Blei- oder Zinnstreifen von ca. 0,3 mm Stärke in einen Silaplastabdruck des Patientenkiefers einzulagern. Das benötigte Segment, nämlich der Bereich vom oberen rechten Prämolar bis zum oberen linken Prämolar und vom oberen rechten Molar bis zum oberen linken Molar kann aus dem Abdruck ausgeschnitten und vom Abdrucklöffel abgehoben werden.

Schwierigkeiten bei dieser Methode ergaben sich jedoch dadurch, daß eine Grundforderung, nämlich der Patient solle bei der Fernröntgenaufnahme die Zahnreihen in Okklusion haben, nicht zur vollen Zufriedenheit erfüllt werden konnte. Es ist nämlich eine Silaplastschicht zwischen den Zahnreihen vorhanden, die vor der Aufnahme entfernt werden muß. Die Stabilität des Silaplastsegmentes ist dadurch unter Umständen nicht mehr gewährleistet.
Für diesen Versuch stand mir ein Proband zur Verfügung.

d) Theorie zur röntgenologischen Darstellbarkeit der Wurzelspitzen

Wie ist es nun möglich, die Wurzelspitzen einzelner Zähne röntgenologisch darzustellen ?

Ich gehe davon aus, daß ein Röntgenstrahl eine Gerade darstellt, die ihren Ursprungspunkt im Focus hat, an dem ja die Strahlung punktförmig entsteht.
Ein Strahl dieses divergierenden Bündels wird die Wurzelspitze auf das Röntgenbild projizieren.
Bei dem hier dargestellten Verfahren bildet dieser Strahl jedoch noch zwei weitere Punkte ab, die lateral der Wange des Patienten auf zwei röntgenpositiven Gittern aus Draht liegen.

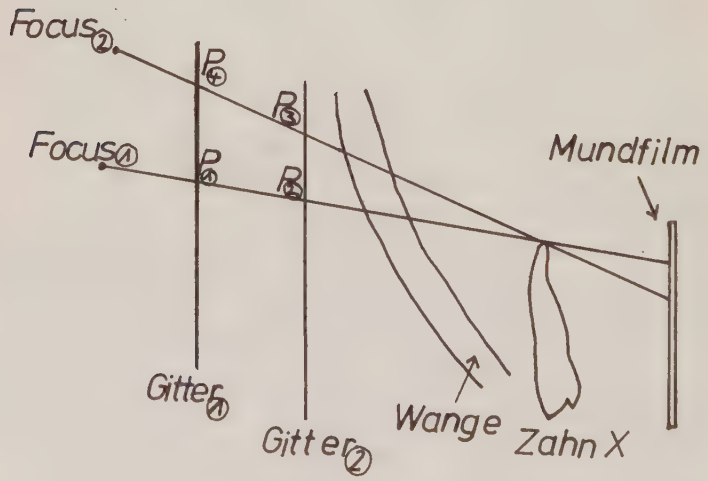


Abb. 12 Schematische Darstellung der geometrisch-mathematischen Ermittlung einer Wurzelspitze eines beliebigen Zahnes, mittels zweier extraoraler Drahtgitter und zweier verschiedener Focuseinstellungen des Röntgengerätes. Es werden zwei Geraden ermittelt, deren Schnittpunkt den Apex ergibt.

Die Drahtgitter sind derart gestaltet, daß sie mit einem Millimeterpapier vergleichbar sind.
Entsprechend dem Origo eines Koordinatenkreuzes, den man als Anhaltspunkt wählt, läßt sich nun die Lage der Wurzelspitze beziehungsweise Wurzelspitzen auf dem jeweiligen Gitter leicht bestimmen. Die Gitter sind dabei so angeordnet, daß das vordere vom hinteren gut zu unterscheiden ist, das heißt,sie sind geringgradig gegeneinander verdreht.
Auf dem Mundfilm wird folgendes sichtbar (s. Abb. 13, 14):

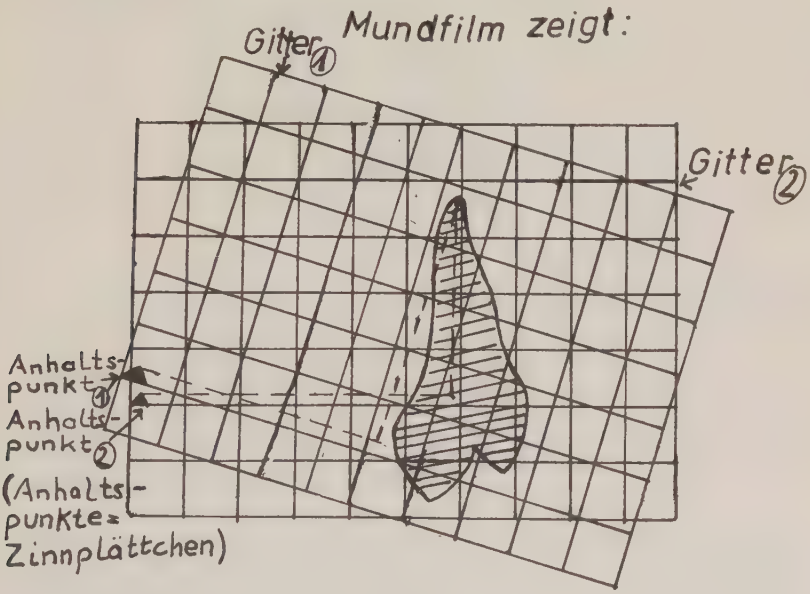


Abb. 13 Laterale Ansicht. Für jede mögliche Focuseinstellung des Röntgengerätes besitzt der zu ortende Apex entsprechende Koordinaten, die mit Hilfe der beiden auf dem Mundfilm abgebildeten extraoralen Drahtgitter ablesbar sind.

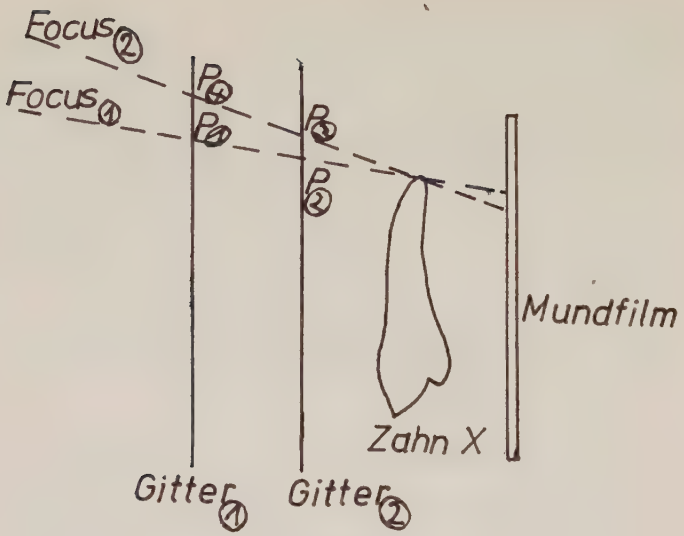


Abb. 14 Frontale Ansicht (p.a.). Bei zwei verschiedenen Focuseinstellungen des Röntgengerätes werden vier Punkte der beiden extraoralen Drahtgitter auf den zu ortenden Apex projiziert. Aus den vier Punkten ergeben sich zwei Geraden und ein Schnittpunkt, nämlich die gesuchte Wurzelspitze.

Anhand der röntgenpositiven Anhaltspunkte auf den Gittern läßt sich nun wie in einem Koordinatensystem die Lage der Wurzelspitze bestimmen, das heißt,man zählt einfach die Einheiten vom Anhaltspunkt zur Wurzelspitze aus.
Dieser Punkt auf dem Röntgenbild (Mundfilm) ist folglich sowohl auf Gitter 1, als auch auf Gitter 2 gelegen, wodurch eine Gerade, nämlich die Gerade : Focus Punkt auf Gitter 1 Punkt auf Gitter 2 Wurzelspitze, definiert ist.
Da man diesen Punkt anhand eines Mundfilmes ablesen kann, muß man ihn lediglich noch mit möglichst punktförmigen,

röntgenpositiven Markierungen kennzeichnen.
Hat man auf diese Weise eine Gerade durch die Wurzelspitze definiert und entsprechend sichtbar gemacht, muß man den Vorgang in einer zweiten Einstellung des Röntgengerätes, das heißt einer zweiten Tubusneigung, wiederholen, um nun aus beiden Arbeitsgängen zwei Gerade zu ermitteln, wodurch sich, mathematisch gesehen, ein Schnittpunkt ergibt, welcher exakt die Wurzelspitze darstellt.

Vereinfacht ausgedrückt: Man versucht, die Wurzelspitzen mit Hilfe von Drahtgittern nach Art eines Koordinatensystems zu orten, die georteten Punkte auszuzählen und auf den Gittern röntgensichtbar (im Sinne eines positiven Röntgenkontrastes) zu markieren, wodurch im Endeffekt zwei Geraden definiert werden, deren Schnittpunkt in der Ebene des Röntgenbildes die Wurzelspitze ergibt (Definition eines Punktes in einer Ebene).

Eine Verbesserung der Bildqualität und vor allem eine Erleichterung, die benötigten Anhaltspunkte auf dem Mundfilm zu erhalten, wird durch die Anwendung von Mundfilmen des Formates: 5 x 4 cm anstatt
4 x 3 cm (normale Mundfilme) erreicht.

Bei den Versuchen wurde eine Tubusneigung von
a) + 35 Grad für die erste Gerade und
b) + 45 Grad für die zweite Gerade benutzt.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, daß die projektorischen Verhältnisse bei den Aufnahmen keinen entscheidenden Einfluß auf die Registriergenauigkeit haben, wenn ein Achsenneigungsunterschied des Tubus von circa 10 Grad angestrebt wird.

Der Punkt "Apex" ist dann bei den Aufnahmen als nahezu

identisch zu reproduzieren. Abbildung 15 zeigt die Entstehung eines Lokalisationsfehlers (- extreme Projektionsverhältnisse)

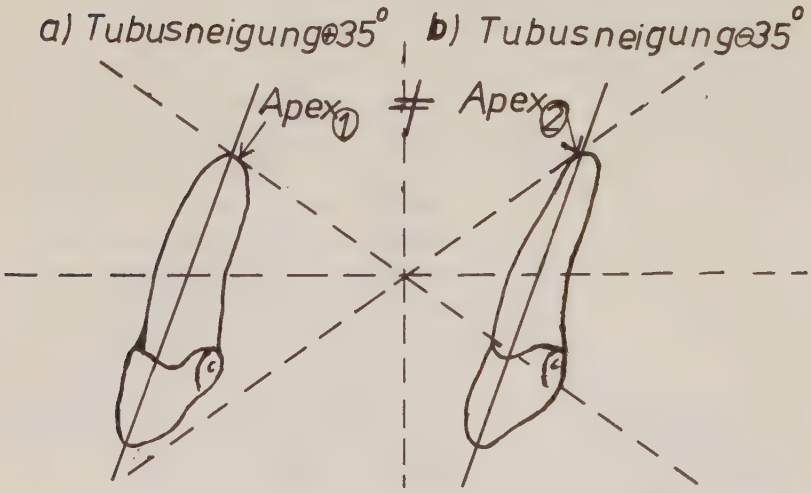


Abb. 15 Entstehung eines Lokalisationsfehlers. Bei Tubusneigungen, die nicht den vorgeschriebenen Werten entsprechen, entstehen projektorisch bedingte Verfälschungen der apikalen Region.

Zweckmäßig schien es,nichtdie ganzen Drahtgitter anzuwenden, sondern diese zu skelettieren und den Rest durch röntgennegativen Kunststoff zu ersetzen , auf welchem ebenso einfach und schnell die röntgenpositiven Markierungen anzubringen sind, da eine millimeterpapierähnliche Einteilung auf dem Kunststoff vorhanden ist (s. Abb. 19).

Ich möchte in diesem Zusammenhang jedoch nicht näher auf die Herstellungstechnik der Präzisionsgitter eingehen, sondern möchte lediglich erwähnen, daß das Verfahren in der Halbleitertechnik Anwendung findet. Es ist eine tech-

nisch perfekte und dennoch relativ billige Methode. Der erwartete Erfolg blieb jedoch aus, denn das feine Kupfer-Koordinatensystem erzielte nicht den gewünschten Röntgenkontrast und stellte sich so als nicht anwendbar heraus.

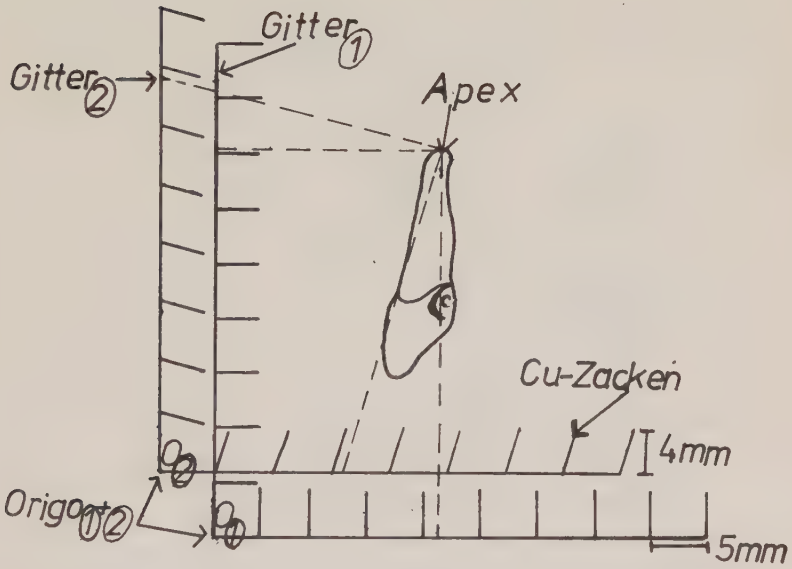


Abb. 16 Für jede mögliche Focuseinstellung des Röntgengerätes besitzt der zu ortende Apex entsprechende Koordinaten, die auch mit Hilfe von zwei auf einem Mundfilm abgebildeten extraoralen skelettierten Suchgittern bestimmbar sind. Der Röntgenkontrast der Präzisionsgitter ist jedoch zu schwach (in den Fernröntgenaufnahmen sind sie nicht sichtbar).

Das zu diesem Zweck entwickelte Gerät (s. Abb. 19) ist in der Praxis jedoch nicht anwendbar, da

a) die skelettierten Gitter einen zu schwachen Röntgenkontrast ergeben und

b) die Ohrmuscheln des Patienten zur Orientierung im Cephalostaten nicht frei sind.

Aus diesem Grund mußte auf die Maschengitter der Vorversuche zurückgegriffen werden, und diese mußten über Silaplastarme mit einer der Kopfkinnkappe ähnlichen Konstruktion verbunden werden.

Diese Apparatur ist: - individuell einstellbar -
- desinfizierbar -
- am Patienten also anwendbar -
- billig - (s. Abb. 20, 21).

Es wird folgendes in der Norma frontalis sichtbar:

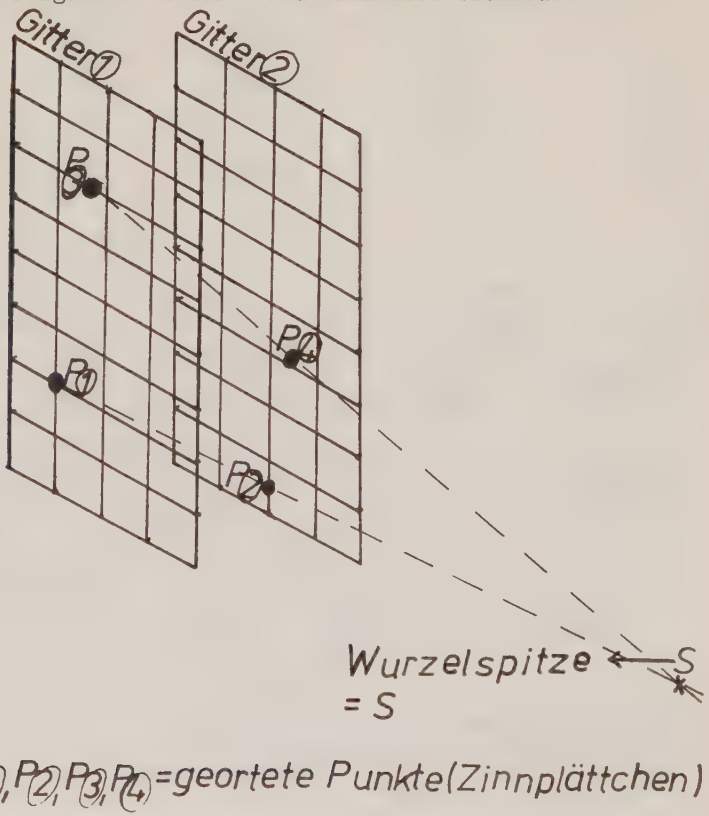


Abb. 17 Schematische Darstellung der Drahtgitter in der Norma frontalis. Die Verbindung der vier georteten und röntgenpositiv markierten Punkte ergibt zwei Geraden, deren Schnittpunkt S die gesuchte Wurzelspitze ergibt.

Die eingezeichneten Punkte sind röntgenpositive Markierungen. Auf diese Weise ist es möglich, die Wurzelspitzen in der Norma frontalis auf indirektem Wege darzustellen und somit die Konturen der Zähne in der Gesamtheit besser herauszukristallisieren.

Röntgenologisch ist somit folgendes in der Norma frontalis darstellbar (s. Abb. 18).

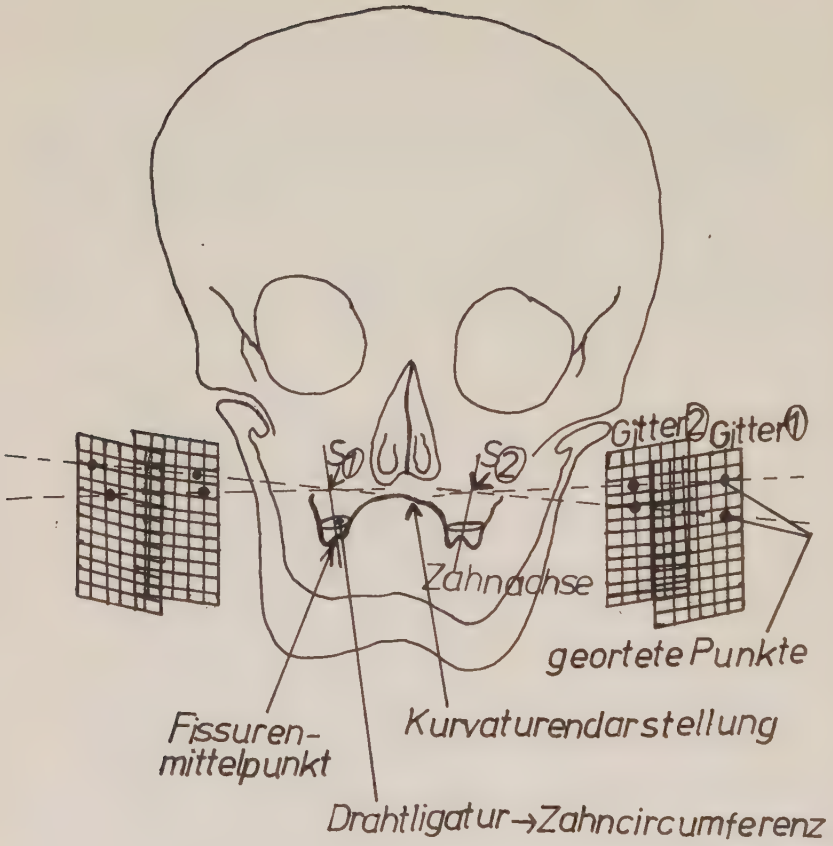


Abb. 18 Schematische Darstellung der im frontalen Fernröntgenbild sichtbaren Strukturen eines Schädels einschließlich der röntgenologisch sichtbar gemachten kieferorthopädisch relevanten Konturen und der für die Wurzelspitzenortung benötigten Drahtgitter.

Anmerkung: Die gesamte für das Registrierverfahren notwendige Strahlendosis ist unbedenklich !

Da die Drahtgitter in ihrer gesamten Größe auf dem frontalen Fernröntgenbild erscheinen, würde es auch genügen, nur die röntgenpositiven Anhaltspunkte zur Auszählung der Koordinaten der zu ortenden Punkte auf den Gittern anzubringen, die Koordinaten aus den zwei Mundfilmen zu notieren, um sie später wieder in dem frontalen Fernröntgenbild auffinden zu können.

Somit ist eine etwas größere Genauigkeit zu erwarten, denn eine punktförmige Markierung durch röntgenpositive Zinnplättchen ist nahezu unmöglich.

Abb. 19 Registriergerät am Patienten (Röntgenkontrast des Kupfer-Fadenkreuzes zu schwach)

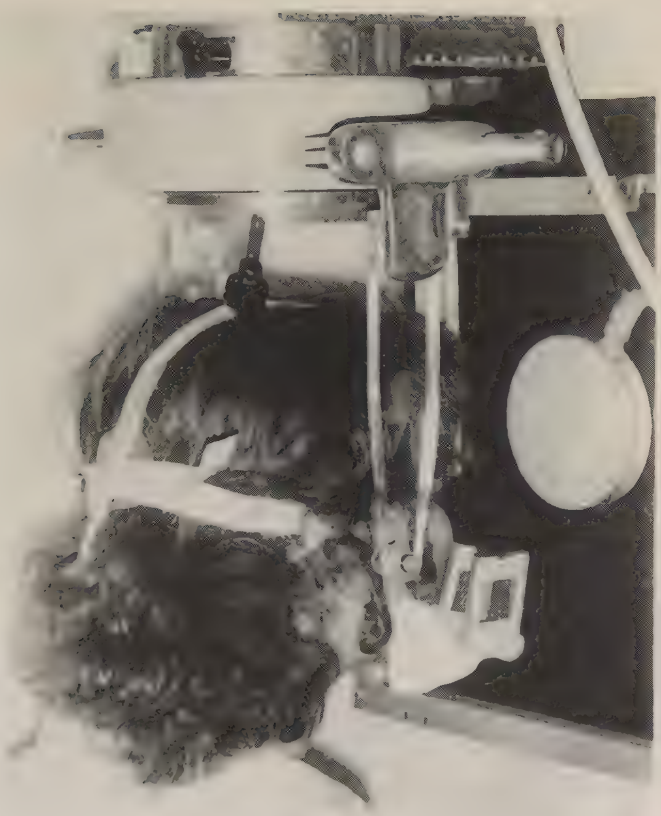


Abb. 20 Gerät zur Wurzelspitzenortung am Patienten
(Aspekt von dorso-lateral)

Abb. 21 Gerät zur Wurzelspitzenortung am Patienten
(Aspekt von lateral)

Beispiel für die Wurzelspitzenortung mit Drahtgittern und die Darstellung der Alveolarfortsatz-, Zahn- und Gaumen-Kurvaturen samt Zahncircumferenz im Gebiet vom oberen rechten Prämolar bis zum oberen linken Prämolar am mazerierten Schädel

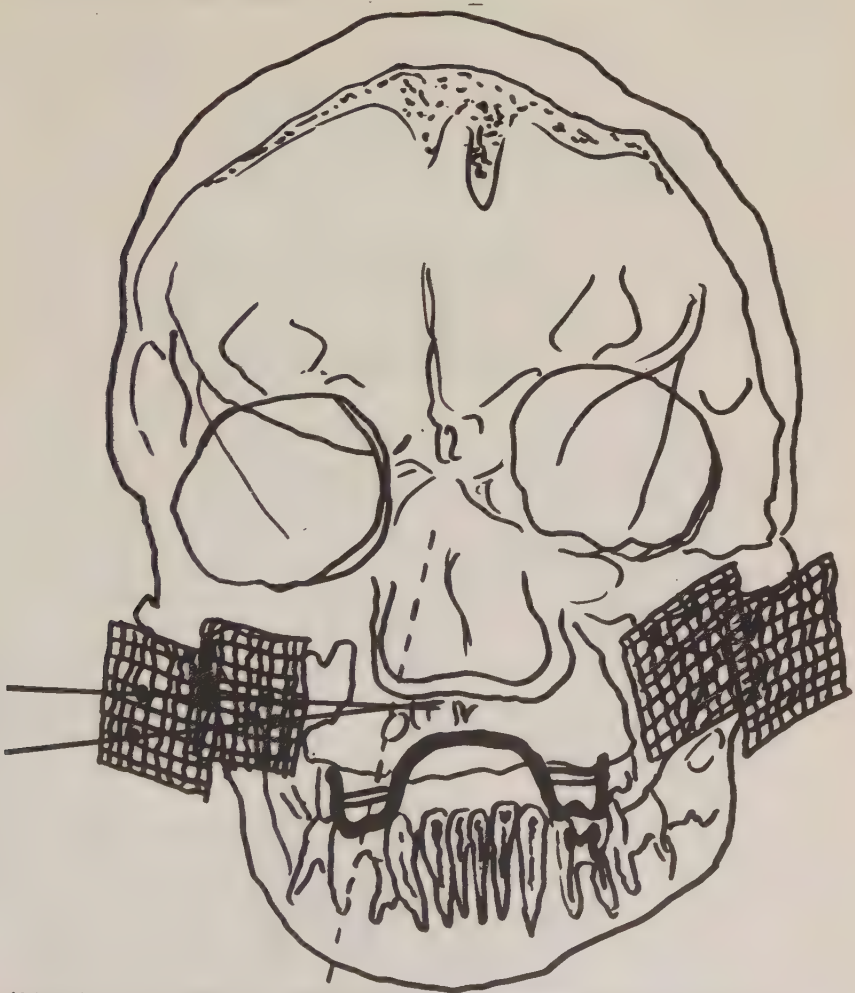


Abb. 22 Ergebnis des Registrierverfahrens und der Strukturendarstellung des Gebietes 14 - 24 (Durchzeichnung)

Beispiel für die Wurzelspitzenortung mit den skelettierten Cu-Präzisionsgittern. Die mit Hilfe der Mundfilme georteten Punkte zur Bestimmung der Lage der Wurzelspitze vom oberen linken Eckzahn sind durch feine Metallstifte verbunden, das Kupfer-Koordinatensystem selbst ist in der Fernröntgenaufnahme nicht sichtbar (zu schwacher Röntgenkontrast !). Selbst auf den Mundfilmen ist die Lagebestimmung des Apex wegen des sehr schwachen Röntgenkontrastes der skelettierten Gitter nicht immer möglich (nur bei optimalen Aufnahmen).

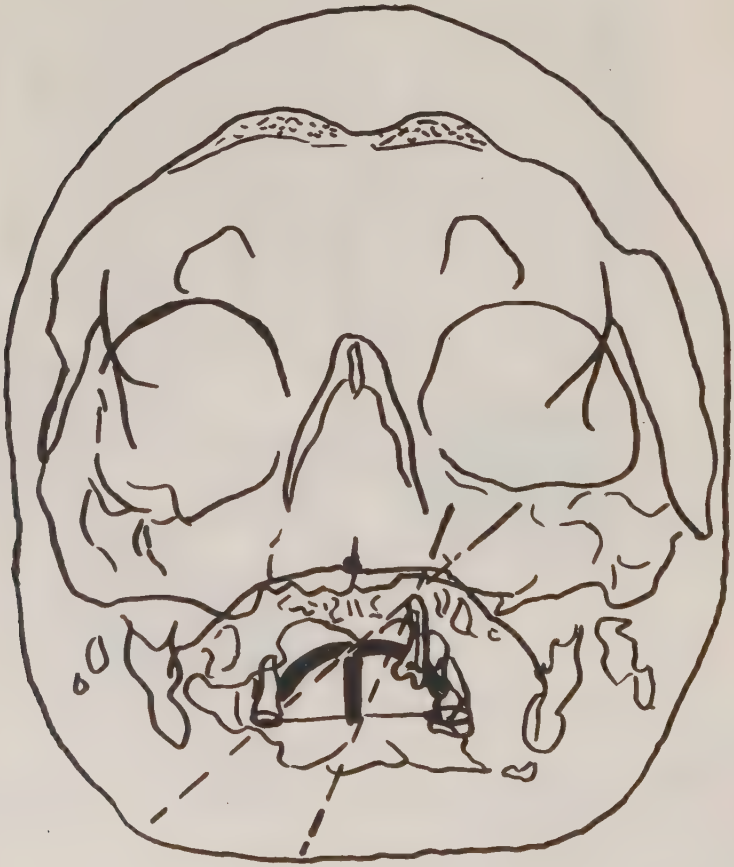


Abb. 23 Lagebestimmung des Apex vom oberen linken Eckzahn mit skelettierten Cu-Suchgittern (Röntgenkontrast meist unzureichend) - in diesem Fall annähernd genaue Bestimmung gelungen - (Durchzeichnung)

e) Ergebnisse

Für die röntgenologische Darstellung von kieferorthopädisch relevanten Strukturen bei Fernröntgenaufnahmen in der Norma frontalis bieten sich die bereits erläuterten Möglichkeiten an, die in einer Vielzahl von Versuchen an mazerierten Schädeln mit geschlossener oder lückiger Zahnreihe und an einem Probanden erprobt wurden. Die Ergebnisse müssen kritisch in Bezug zum zeitlichen und technischen Aufwand gesehen werden.

1. Das Markieren der Fissurenmeßpunkte durch Bleikügelchen ist bei nicht amalgamgefüllten Zähnen durchaus anwendbar. Die durch die Markierung der Fissurenmeßpunkte hervorgerufene Verschattung ist auf dem Röntgenbild scharf begrenzt. Die röntgenpositive Kennzeichnung der Fissurenmeßpunkte ist dann ergebnislos, wenn die entsprechenden Zähne Amalgamfüllungen besitzen (sehr häufig bei Sechsjahrmolaren) und dadurch ein Verschwimmen der beiden Fremdkörperschatten erfolgt. Es ist dann eine strukturenmäßige Trennung beider Metalle nicht mehr möglich.

2. Der individuelle Spannstift zur Darstellung der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatz-Kurvaturen ist am Patienten anwendbar, seine Einbringung ins cavum oris und die Fixierung durch kleine Gummizüge ist jedoch relativ schwierig. Diese Methode ist durchführbar, jedoch muß man die genannten Schwierigkeiten beim Anwenden dieses Verfahrens in Kauf nehmen.

3. Die beste und einfachste Möglichkeit zur Darstellung der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatz-Kurvaturen ist die der Adaptation eines Zinnfolienbandes (beim Patienten mit einer feinen Stoffhülle umgeben!) über die darzustellenden Strukturen und der Befestigung mit einer Drahtligatur, wodurch gleichzeitig die Circumferenz des entsprechenden Zahnes sichtbar wird.

4. Als weitere Alternative zum individuellen Spannstift bietet sich die Möglichkeit an, Blei- oder Zinnstreifen von ca. 0,3 mm Stärke in einen Silaplastabdruck des Patientenkiefers einzulagern.
Das benötigte Segment, nämlich der Bereich vom oberen rechten Prämolar bis zum oberen linken Prämolar und vom oberen rechten Molar bis zum oberen linken Molar kann aus dem Abdruck ausgeschnitten und vom Abdrucklöffel abgehoben werden.
Die Schwierigkeiten bei dieser Methode lagen jedoch darin, daß eine Grundforderung, der Patient solle bei der Fernröntgenaufnahme die Zahnreihen in Okklusion haben, nicht zur vollen Zufriedenheit erfüllt werden konnte. Es ist nämlich eine Silaplastschicht zwischen den Zahnreihen vorhanden, die vor der Aufnahme entfernt werden muß.
Die Stabilität des Silaplastsegmentes ist dann unter Umständen nicht mehr ausreichend (es läßt sich nicht als Ganzes in den Mund des Patienten einbringen).
Ein Proband stand zu diesem Versuch zur Verfügung.

5. Die Registrierung der Wurzelspitzen am Patienten mit der hier beschriebenen Methode stellt eine Möglichkeit dar, den apikalen Bereich einzelner Zähne röntgenologisch darzustellen.
Extreme Projektionsverhältnisse (siehe S. 44) veranschaulichen, daß Ungenauigkeiten im Sinne von Lokalisationsfehlern des Apex zu erwarten sind.
Ein weiterer Nachteil ist der, daß das Registrieren von

der praktischen Durchführung her schwierig und auch zeitraubend ist.
Diese Methode ist jedoch die bisher einzige Möglichkeit, den apikalen Bereich einzelner Zähne in einer konventionellen frontalen Fernröntgenaufnahme direkt am Patienten darzustellen.

IV. DISKUSSION

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit bestand darin, das für die kieferorthopädische Diagnose besonders wichtige Seitenzahngebiet im Oberkiefer (sowohl coronaler als auch apikaler Bereich) röntgenologisch bei der Frontalprojektion darzustellen.

Um eine größengetreue Darstellung des Schädels ohne projektorische Verzerrungen zu erhalten, wurde ein Film-Focus-Abstand von genau 4 m gewählt (Vergrößerungsfaktor = praktisch 0). Als Orientierungsgerät fand das Tübinger Einstellgerät Anwendung.

Damit überhaupt Untersuchungen praktisch durchgeführt werden konnten, mußten Geräte entwickelt werden, die eine röntgenologische Darstellung der ersten Prämolaren, ersten Molaren, des Verlaufes der entsprechenden Gaumen- und Alveolarfortsatz-Kurvaturen, sowie der Wurzelspitzen ermöglichten.
Erst jetzt war es möglich, die Achsenrichtung der oberen ersten Prämolaren und der oberen Molaren sowie die Winkel der Achsen dieser Zähne mit der Oberkieferbasis, als auch die Gaumenhöhe bei den oberen ersten Prämolaren und der oberen Molaren zu beurteilen.

Eine transversale Schwenkung des Oberkiefers kann durch den Winkel, der durch den Schnittpunkt der Strecke der apikalen Basis mit der Medianebene entsteht, diagnostiziert werden.

Die frontalen Fernröntgenbilder wurden von mazerierten Schädeln mit geschlossenen oder lückigen Zahnreihen und einem Probanden angefertigt und im Hinblick auf eine bessere Strukturendarstellung kieferorthopädisch relevanter Kieferbereiche untersucht.

Die Ergebnisse basieren auf einer Vielzahl von Versuchen, die mit Hilfe von drei mazerierten Schädeln und eines Probanden gewonnen wurden.

Beim einfachsten Vorgehen, nämlich der Markierung der Fissurenmeßpunkte mit Bleikügelchen, führte das Phänomen der Übereinanderprojektion von Strukturen dazu, daß eine Kennzeichnung (Markierung) bei amalgamgefüllten Zähnen unmöglich wurde.
Bei nicht gefüllten Zähnen (metallfüllungslos) ist diese Methode durchaus anwendbar. Die durch Markierung der Fissurenmeßpunkte hervorgerufene Verschattung ist auf dem Röntgenbild scharf begrenzt.
Es kann somit die Aussage gemacht werden, daß bei der Schwierigkeit des gestellten Problems wohl auch keine einfachen Lösungen vorhanden sind.

Eine andere Methode ist das Einbringen von individuellen Spannstiften zur Darstellung der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatz-Kurvaturen in den Mund des Patienten. Hierbei erhebt sich die Frage, ob man das zeitraubendere Verfahren der Anfertigung von Wachsschablonen und des anschließenden Einlegens von Bleistreifen (Verfahren nach D. BRAUN (4) und R. HAGEMANN (14)) dieser zeitsparenderen, jedoch in der praktischen Durchführung schwierigeren Methode, vorziehen soll. Eine Klärung dieser Frage aber wird erst dadurch möglich sein, wenn mit den verschiedenen Methoden Vergleichsuntersuchungen angestellt werden.

Als beste und einfachste Möglichkeit zur Darstellung der Kronen-, Gaumen und Alveolarfortsatz-Kurvaturen stellte sich die Adaptation eines Zinnfolienbandes (bei Patienten mit einer feinen Schutzhülle umgeben, um eventuellen Schleimhautverletzungen prophylaktisch zu begegnen) über die darzustellenden Strukturen und die Befestigung mit einer Drahtligatur heraus, wodurch gleichzeitig eine röntgenologische Darstellung der Circumferenz des ent-

sprechenden Zahnes möglich wird.

Die Einlagerung von Blei- oder Zinnstreifen in einen Silaplastabdruck des Patientenkiefers als Alternative zu den anderen schon beschriebenen Verfahren erfüllte nicht die Erwartungen.
Die Schwierigkeiten bei dieser Methode lagen nämlich darin , daß eine Grundforderung, nämlich der Patient solle bei der Fernröntgenaufnahme die Zahnreihen in Okklusion haben, nicht zur vollen Zufriedenheit erfüllt werden konnte. Es ist nämlich eine Silaplastschicht zwischen den Zahnreihen vorhanden, die vor der Aufnahme entfernt werden muß. Die Stabilität des Silaplastsegmentes, welches vom oberen rechten ersten Prämolar bis zum oberen linken ersten Prämolar und vom oberen rechten Molar bis zum oberen linken Molar reicht, ist dann unter Umständen nicht mehr ausreichend.
Man muß feststellen, daß hier wohl Altbewährtem (normales Abdrucknehmen mit Alginat und Fertigung einer Wachsschablone) gegenüber dem Neuen der Vorzug zu geben ist.

Zuletzt wurde eine Theorie zur röntgenologischen Darstellbarkeit der Wurzelspitzen erarbeitet und in die Praxis umgesetzt.
Die Wurzelspitzen sind direkt am Patienten nicht markierbar, es sei denn durch röntgenpositive Wurzelfüllungen.
Das Vorgehen beim Registrieren wurde mehrfach modifiziert, technische Verfeinerungen stellten sich jedoch auch hierbei als Fehlschläge heraus (das skelettierte Kupfer-Koordinatensystem wies in der frontalen Fernröntgenaufnahme einen zu schwachen Röntgenkontrast auf).
Die Registrierung im Sinne einer geometrisch-mathematischen Bestimmbarkeit der Wurzelspitzen einzelner Zähne wurde zunächst bei Zähnen vorgenommen, deren Apices auch in der Frontalprojektion sichtbar sind (zum Beispiel: Incisivi; bei den lückigen Zahnreihen konnten auch die Canini herangezogen werden).

Die kritische Auswertung der Vorversuche ergab, daß sich mit dieser Methode tatsächlich die Wurzelspitzen einzelner Zähne darstellen lassen.
Da für dieses Verfahren jedoch jeweils zwei Mundfilme mit zwei verschiedenen Projektionsrichtungen (Achsenneigungsunterschied des Tubus ca. 10 Grad) angefertigt werden müssen, treten Fehlersummationen im Sinne von anatomischen Lokalisationsfehlern des Apex auf.
Mit dieser Methode ist dennoch eine ausreichend exakte Darstellung der Wurzelspitzen im frontalen Fernröntgenbild möglich; sie stellt das bisher einzige Verfahren dar, den apikalen Bereich einzelner Zähne in einer konventionellen frontalen Fernröntgenaufnahme direkt am Patienten darzustellen.
Eine genaue Angabe der hierbei auftretenden Summationsfehler wird jedoch erst aufgrund weiterer, umfassender Untersuchungen möglich sein.

Ein Vergleich der hier durchgeführten Methode der Analyse der frontalen Fernröntgenaufnahme mit den in der Literatur angegebenen Verfahren ist sehr wünschenswert, er wird jedoch erst durch eine längerfristige Vergleichsauswer - tungder verschiedenen Möglichkeiten des Vorgehens durchführbar sein.
Im einzelnen haften den in der Literatur angegebenen Verfahren folgende Vor- und Nachteile an:

- Einbringen von Metallimplantaten in leere Alveolen an mazerierten Schädeln durchführbar, am Patienten nicht zu verwirklichen -
- Anwenden des Tomogrammverfahrens ist technisch und finanziell sehr aufwendig, liefert aber sehr aufschlußreiche Schichtdarstellungen von Körpergeweben -
- Einbringen von Dionosil (= Röntgenkontrastmittel) ist bei Hohlräumen (zum Beispiel Gehörgänge) möglich, das Aufbringen zum Beispiel auf Zahnkronen, den Gaumen und so weiter ist jedoch kaum möglich (das Material muß durch

ein anderes abgedeckt werden) -

- Kennzeichnung von Meßpunkten mit Bleikugeln stellt eine brauchbare Möglichkeit zur röntgenologischen Sichtbarmachung dieser Punkte dar. Das Verfahren ist jedoch nur dann anwendbar, wenn kein zweiter Fremdkörperschatten in diesem Bereich zur Darstellung kommt -
- Einlagern von Bleistreifen in eine Wachsschablone ermöglicht die Herauskristallisation der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatz-Kurvaturen im Fernröntgenbild (eine röntgenologische Darstellung der Wurzelspitzen ist mit dieser Methode nicht möglich) -
- Indirekte Übertragung von Zahnachsen in ein Fernröntgenbild wird mit Sicherheit ungenau, wenn
  a) ungleichmäßig abradierte Höcker vorliegen und
  b) durch Trauma teilzerstörte Zähne vorliegen -

Eine längerfristige Vergleichsauswertung der verschiedenen Verfahren muß weiteren Arbeiten, speziell auf diesem Gebiet, vorbehalten bleiben.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Die Aufgabe dieser Arbeit ist es, zu eruieren, ob Möglichkeiten vorhanden sind, bisherige unbefriedigende Methoden zur röntgenologischen Darstellung kieferorthopädisch wichtiger Strukturen im frontalen Fernröntgenbild zu verbessern. Insbesondere wird die Frage gestellt, ob es möglich ist, die Wurzelspitzen entsprechender Zähne in der Frontalprojektion darzustellen.
An einem Überblick über die Entdeckung, Definition und Eigenschaften der Röntgenstrahlen im allgemeinen und den Weg zur Fernröntgenaufnahme im besonderen schließt sich die Bedeutung des Fernröntgenbildes für die kieferorthopädische Praxis an.
Danach wird auf die Herstellungstechnik einer frontalen Fernröntgenaufnahme eingegangen.
Anschließend werden bisherige Möglichkeiten der Analyse der frontalen Fernröntgenaufnahme abgehandelt.
Die Auswertung der frontalen Fernröntgenaufnahmen schließt diesen Komplex.

Im zweiten Teil werden eigene Verfahren beschrieben, welche eine röntgenologische Darstellung von Fissurenmeßpunkten, sowie der Kronen-, Gaumen- und Alveolarfortsatz-Kurvaturen ermöglichen,und die Theorie zur röntgenologischen Darstellbarkeit der Wurzelspitzen wird erläutert. Sie wurde von Herrn Diplom-Physiker LUKAS an der Tübingen Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten nachgeprüft.
Die Verfahren wurden in einer Vielzahl von Versuchen erprobt und führten zu folgenden Ergebnissen:

1. Es gibt mehrere Möglichkeiten, kieferorthopädisch relevante Strukturen einschließlich der Wurzelspitzen entsprechender Zähne röntgenologisch bei Fernröntgenaufnahmen in der Norma frontalis darzustellen. Dabei muß von Fall zu Fall entschieden werden, welches Verfahren sich jeweils am besten eignet.

2. Mit den von mir entwickelten Methoden sind Einzeluntersuchungen möglich, wobei geringe Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden müssen. Speziell für die Wurzelspitzenortung gibt es jedoch derzeit kein anderes Verfahren.

3. Hinsichtlich der für den kieferorthopädischen Routinebetrieb notwendigen rationellen Arbeitsweise gibt es derzeit keine Möglichkeit, die frontale Fernröntgenaufnahme mit der erforderlichen Genauigkeit anzufertigen. Zweifellos konfrontiert uns die frontale Schädelaufnahme mit einer ganzen Fülle von Problemen. Der Wunsch, sie zu lösen, soll der Antrieb für weitere Forschungen auf diesem Gebiet sein.

VI. LITERATURVERZEICHNIS

BIMLER, H.P. — Die Bedeutung des Fernröntgenbildes. Fortschr.Kieferorthop., 20,3, 256 (1959)

BLEIFUSS-RILAT, U. — Kieferorthopädische Prognose und Fernröntgendiagnostik in USA. Fortschr.Kieferorthop., 14,3, 205 (1953)

3. BOUVET, J.M. — Une incidence téléradiographique de la tete de face. Rev.Stomat.Chir.Maxillofac., 78,2, 127 (1977)

BRAUN, D. — Die Kieferkompression im frontalen Fernröntgenbild. Med.Diss. Tübingen, 1966

BROADBENT, B.H. — A new X-ray-technique and its application to orthodontia. Angle Orthodont., 1,45, (1931)

COUTAND, A., R. FRAUDET, G. OVAZZA, G. MALEYSSON — Peut-on faire un diagnostic sur le seul aspect morphologique d' un enfant. Importance des examens complémentaires en orthopédie dento-faciale. Rev.Stomat.Chir.Maxillofac., 76,3, 233 (1975)

DAUSCH-NEUMANN, D. — Progenie und Fernröntgenbild.

Fortschr.Kieferorthop., 20,2, 117 (1959)

DAUSCH-NEUMANN, D. Die Fernröntgenaufnahme in der Norma frontalis bei der Progenie. Dtsch.zahnärztl.Z., 15,22, 1522 (1960)

DAUSCH-NEUMANN, D. Kieferkompression und Deckbiß im frontalen Fernröntgenbild. Fortschr.Kieferorthop., 33,1, 11 (1972)

DE COSTER, L. Zweckmäßige Anwendung der Fernröntgenaufnahme bei der Diagnostik der Anomalien. Fortschr.Kieferorthop., 20,2, 166 (1959)

DORN, O. Dorn Physik. Dorn Physik, 14, 213,217,380, 408,440,441 (1970)

EICHER, W. Reproduktionsgenauigkeit eines dreidimensionalen cephalometrischen Koordinatensystems. Med.Diss.Bern, 1961

GEBAUER, U. Elektronische Meß- und Rechenanlage zur arcogrammetrischen Modelldiagnostik und zum Auswerten von Fernröntgenbildern. S.S.O., 87,11, 1170 (1977)

HAGEMANN, R. Der Deckbiß im frontalen Fernröntgenbild. Med.Diss. Tübingen 1968

HAUSSER, E. Die aufnahmetechnischen Bedingungen der Fernröntgenaufnahme. Zahnärztl.Welt, 7,20, 442 (1952)

HEPBURN, CHR. Das Tübinger Fernröntgen-Einstellgerät. Dtsch.zahnärztl.Z., 21,7, 8444 (1966)

HOFFER, O. Die Individualität des Gesichtstyps im Lichte der Fernröntgenuntersuchung. Fortschr.Kieferorthop., 16,1, 26 (1955)

HOFFMANN-AXTHELM, W. Lexikon der Zahnmedizin. Berlin, Quintessenz, 326 (1974)

HOFRATH, H. Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. Fortschr.Kieferorthop., 1, 232 (1931)

HOTZ, R. Ist das Fernröntgenbild für die Beurteilung und Therapie einer Bißanomalie notwendig? Fortschr.Kieferorthop., 20, 2, 156 (1959)

KINAST, H. — Zur Aussagekraft der p.a.-Fernröntgenaufnahme. Fortschr.Kieferorthop., 35, 404, (1974)

KIRSCH, TH. — Die Streustrahlung bei Fernröntgenaufnahmen. Fortschr.Kieferorthop., 20, 3, 300 (1959)

KORKHAUS, G. — Die Auswertung des Fernröntgenbildes in der Kieferorthopädie. Dtsch.Zahn-,Mund- und Kieferheilk., 3,11, 715 (1936)

KORKHAUS, G. — in Bruhn: Handbuch der Zahnheilkunde Band IV. Bergmann Verlag, München 1939

KORKHAUS, G. — Die Bedeutung des Fernröntgenbildes für die kieferorthopädische Praxis. Fortschr.Kieferorthop., 20,1, 1 (1959)

KORKHAUS, G. — Fortschritte der zahnärztlichen Röntgenologie. Zahnärztl.Prax., 12, 1, 2 (1961)

KULKARNI, J. — Die Fernröntgenaufnahme in der Norma frontalis. Med.Diss.Bonn, 1958

MOORREES, C.F.A. und M.R. KEAN — Die natürliche Kopfhaltung und ihre grundlegende Be-

deutung für die Beurteilung cephalometrischer Röntgenaufnahmen.
Fortschr.Kieferorthop., 20, 2, 142 (1959)

MULICK, J.F. Clinical use of the frontal headfilm.
Angle Orthodont., 35,4 299 (1965)

NAWRATH, K. Die Bedeutung des Zentralstrahles bei Herstellung von Fernröntgenaufnahmen des Schädels.
Fortschr.Kieferorthop., 20, 2, 192 (1959)

NAWRATH, K. Beitrag zur Herstellung von p.a.-Röntgenaufnahmen des Kopfes.
Fortschr.Kieferorthop., 24, 1, 75 (1963)

NEUERT, H. Experimentalphysik.
Neuert Experimentalphysik, 712, 261, 263, 278 (1969)

REHAK, R. Über Zergliederungsverfahren am Fernröntgenbild.
Fortschr.Kieferorthop., 25, 3, 384 (1964)

SCHOPF, P. Die frontale Röntgenaufnahme des Schädels und ihre Bedeutung für die kieferorthopädische Diagnose und Prognose.

Med.Diss. Mainz 1961

SCHWARZ, A.M. — Lehrgang der Gebißregelung
Band 1, 2. Auflage
Urban und Schwarzenberg,
Wien-Innsbruck 1951

STÄMPFLI, R. — Ein neuer cephalometrischer Meßpunkt am Eingang zum Meatus acusticus externus: Reproduktionsgenauigkeit und Verhalten in einer Longitudinalstudie.
Med.Diss. Bern 1978

ULRICH, A. — Untersuchungen über die metrische Auswertbarkeit des p.a.-Röntgenbildes bei der forcierten Dehnung des Oberkiefers.
Med.Diss. Zürich 1963

LEBENSLAUF

Am 29. Januar 1954 wurde ich, Ulrich Ritzka, als Sohn des Zahnarztes Dr.med.dent. Hubertus Ritzka und dessen Ehefrau Bernhild Anna, geb. Schweizer in Heidelberg geboren.

Die Volksschule besuchte ich in Osterburken (Baden), danach das Matthias-Grünewald-Gymnasium in Tauberbischofsheim, von wo ich nach drei Schuljahren ins Nikolaus-Kistner-Gymnasium in Mosbach (Baden) überwechselte. Dort legte ich 1973 die Reifeprüfung ab.

Im Herbst 1973 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Universität Köln, wo ich 1974 die naturwissenschaftliche Vorprüfung bestand. Im Herbst 1975 bekam ich die Zulassung an der Universität Tübingen, wo ich 1977 die zahnärztliche Vorprüfung mit Erfolg ablegte.

Nach weiteren sechs klinischen Semestern legte ich am 18. Juni 1980 das Staatsexamen an der Universität Tübingen ab.

Ich bin ab 1. September 1980 als Zahnarzt bei der Bundeswehr einberufen.